

УДК 004.023

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-4-30-38

Бондаренко Ю.А.¹
Ломакин В.В.²
Бестужева О.В.²**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦАПФЫ МЕЛЬНИЦЫ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: kdsm2002@mail.ru, lomakin@bsu.edu.ru, bestuzheva.o@yandex.ru

Аннотация

В данной статье представлен выбор параметров восстановления цапфы мельницы на основе метода анализа иерархий. Синтезированы критерии выбора оптимального решения и описана их взаимосвязь с параметрами обработки. Построено множество альтернатив решения многокритериальной задачи оптимизации, предложены способы обработки с варьируемыми геометрическими параметрами режущего инструмента и частоты вращения. На основании выбранных критериев найдено подмножество Парето-оптимальных параметров восстановления цапфы. Подтвержден многокритериальный метод принятия решения – метод анализа иерархий, применен алгоритм оценки и повышения степени согласованности матриц парных сравнений. Предложенный метод экспертной оценки позволяет осуществить выбор параметров обработки, понизить трудоемкость восстановительных работ при неизменном качестве восстановленной поверхности цапфы мельницы.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация; восстановление цапфы мельницы; метод анализа иерархий.

UDK 004.023

Bondarenko Ju.A.¹
Lomakin V.V.²
Bestuzheva O.V.²**THE CHOICE OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE RESTORATION
OF THE AXLE OF THE MILL BASED ON THE METHOD OF ANALYSIS
OF HIERARCHIES**

¹ Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 46 Kostukova St., Belgorod, 308012, Russia

² Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: kdsm2002@mail.ru, lomakin@bsu.edu.ru, bestuzheva.o@yandex.ru

Abstract

This article presents a range of recovery options axle of the mill based on the method of analysis of hierarchies. Synthesized criteria for optimal solutions and described their relationship to treatment parameters. Built many alternatives to solve multicriterial optimization problems, the proposed methods of processing with varying geometric parameters of the cutting tool and rotational speed. Based on the selected criteria found in the subset of Pareto-optimal recovery options axle. Confirmed method of multi-criteria decision-making method of hierarchy analysis, apply the algorithm to assess and improve the coherence matrix of pairwise comparisons. The proposed method of expert evaluation allows selection of processing parameters, to reduce the complexity of rehabilitation works, at a constant quality of the reconstructed surface of the trunnion of the mill.

Keywords: multicriterial optimization; the restoration of the axle of the mill; the method of analysis of hierarchies.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве строительных материалов для измельчения сырья применяют шаровые трубные мельницы, техническое состояние которых при длительной эксплуатации характеризуется значительным износом преимущественно механической части опорных вращающихся деталей – цапф. На рабочей поверхности цапфы возникают различные дефекты, что под действием динамических нагрузок приводит к потере работоспособности оборудования и способствует длительным простоям в ремонте.

Приставной станок позволяет производить обработку цапф помольных мельниц на месте эксплуатации. Для повышения эффективности производства, производительности технологического процесса, стойкости реза, условия возможности охлаждения инструмента, при этом обеспечения высоких показателей точности и качества обработанной поверхности выбран инструмент – ротационный резец. Определяющим параметром режима резания при ротационной обработке является частота вращения цапфы, от которой зависит скорость вращения заготовки, что повлияет и на время обработки цапфы и на стойкость инструмента. При этом возможность варьирования геометрических параметров реза: передний угол, углы установки и поворота реза, радиус режущей чаши реза – позволяет оптимизировать условия стружкообразования для достижения заданных точности и качества цилиндрической поверхности обработки и поддержания высокой работоспособности инструмента.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Задача многокритериальной оптимизации состоит в выборе оптимального решения одновременно по нескольким критериям из множества альтернатив – вариантов сочетаний параметров обработки. Для решения многокритериальной задачи параметрами оценки альтернатив являются следующие критерии: трудоемкость восстановительных работ, время обработки цапфы, износ инструмента, точность геометрических параметров и качество поверхности восстановленной цапфы.

Некоторые параметры и критерии связаны между собой математическими зависимостями, но определить взаимосвязь всех факторов является не выполнимой задачей, ввиду недостаточного количества данных и отсутствия возможности наблюдения результатов в процессе резания. Произведем анализ зависимости критериев от параметров обработки.

Каждый критерий характеризуется определенным параметром: время обработки – скоростью резания, зависящей от частоты вращения, износ инструмента – стойкостью ротационного реза, трудоемкость восстановительных работ характеризуется совместно двумя выше приведенными факторами, точность геометрических параметров – площадью срезаемого слоя, качество поверхности – шероховатостью.

При увеличении частоты вращения цапфы во время ремонта, время обработки уменьшается, но стойкость инструмента падает, что приводит к быстрому износу ротационного реза и плохому качеству обработанной поверхности. С другой стороны, уменьшение частоты вращения приведет к повышению трудоемкости восстановительных работ из-за низкой скорости резания.

Увеличение переднего угла, угла установки и угла поворота вокруг оси приводит к повышению точности геометрических параметров, но в этом случае страдает качество поверхности восстановленной цапфы. При этом радиус режущей чаши инструмента положительно влияет на качество восстановленной поверхности при увеличении, но точность обработанной поверхности снижается.

Первоначальным этапом для многокритериальной оптимизации является нахождение некоторого подмножества недоминируемых, то есть Парето-оптимальных альтернатив. Представлено множество способов обработки цапфы, варьируя геометрические параметры ротационного реза и частоту вращения (таблица 1). По средствам экспертной оценки

производится сужение альтернатив с учетом всех критериев. В результате из 25 способов обработки выделено подмножество Парето-оптимальных, которое включает 14 способов.

Таблица 1

Характеристики параметров обработки при восстановлении цапфы

Table 1

Characteristics of the processing options when you repair the axle

№ способа	Геометрические параметры резца				Частота вращения, об/мин	Парето-оптимальные варианты (+)
	Передний угол $\gamma, ^\circ$	Угол установки $\omega, ^\circ$	Угол поворота резца вокруг оси $\varphi, ^\circ$	Радиус режущей чаши R, мм		
1	10 – 30	0 – 10	10 – 30	0 – 10	0 – 1	-
2	10 – 30	20 – 30	10 – 30	0 – 10	1 – 2	+
3	10 – 30	0 – 10	50 – 70	0 – 10	2 – 3	+
4	10 – 30	20 – 30	50 – 70	0 – 10	0 – 1	-
5	10 – 30	10 – 20	30 – 50	10 – 20	1 – 2	-
6	10 – 30	0 – 10	10 – 30	20 – 30	2 – 3	+
7	10 – 30	0 – 10	10 – 30	20 – 30	2 – 3	+
8	10 – 30	20 – 30	10 – 30	20 – 30	0 – 1	-
9	10 – 30	0 – 10	50 – 70	20 – 30	0 – 1	+
10	10 – 30	20 – 30	50 – 70	20 – 30	2 – 3	+
11	30 – 50	10 – 20	30 – 50	0 – 10	2 – 3	+
12	30 – 50	10 – 20	10 – 30	10 – 20	0 – 1	-
13	30 – 50	0 – 10	30 – 50	10 – 20	2 – 3	-
14	30 – 50	10 – 20	30 – 50	10 – 20	2 – 3	+
15	30 – 50	20 – 30	30 – 50	10 – 20	2 – 3	+
16	30 – 50	10 – 20	50 – 70	10 – 20	0 – 1	-
17	30 – 50	10 – 20	30 – 50	20 – 30	1 – 2	+
18	30 – 50	0 – 10	10 – 30	0 – 10	0 – 1	+
19	50 – 70	20 – 30	10 – 30	0 – 10	2 – 3	+
20	50 – 70	0 – 10	50 – 70	0 – 10	0 – 1	-
21	50 – 70	20 – 30	50 – 70	0 – 10	1 – 2	+
22	50 – 70	10 – 20	30 – 50	10 – 20	0 – 1	-
23	50 – 70	20 – 30	10 – 30	20 – 30	0 – 1	-
24	50 – 70	0 – 10	50 – 70	20 – 30	2 – 3	+
25	50 – 70	20 – 30	50 – 70	20 – 30	0 – 1	-

На следующем этапе решения многокритериальной задачи воспользуемся методом анализа иерархий. Методология его заключается в выборе единственной альтернативы, используя суждения эксперта. Результат обработки данных отображает приоритетность сравниваемых способов обработки. Процесс пошагового выбора оптимальных параметров обработки при восстановлении цапфы экспертом произведен в системе поддержки принятия решения – СППР «Решение».

Выбор единственного способа обработки цапфы из Парето-оптимального подмножества, на первом этапе реализуется структурированием проблемы в виде иерархии, включающая три уровня: 1 уровень – цель выбора (проблема), 2 уровень – уровень подцелей (критерии), 3 уровень – способы обработки (альтернативы). Иерархия представлена на рисунке 1.

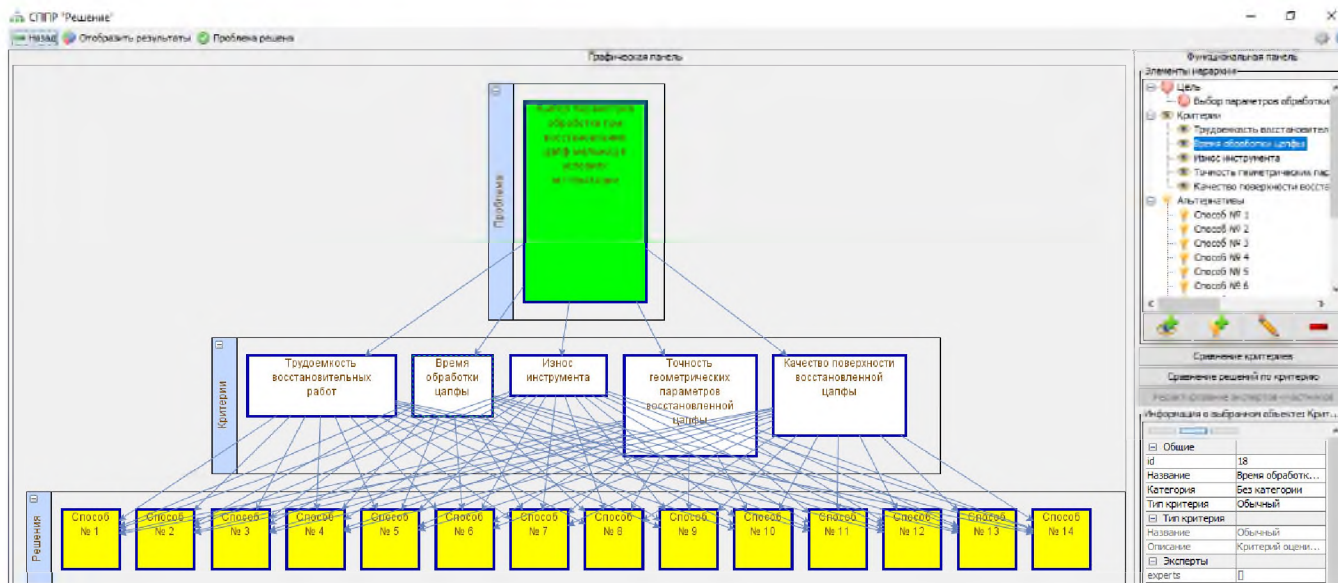


Рис. 1. Иерархия выбора параметров обработки при восстановлении цапфы
Fig. 1. Hierarchy of the choice of treatment parameters of restoring the axle

Следующим этапом исследования методом парных сравнений, используя шкалу относительной важности, реализуется оценка альтернатив экспертом по каждому из критериев: трудоемкость восстановительных работ, время обработки цапфы, износ инструмента, точность геометрических параметров и качество поверхности восстановленной цапфы. Матрица сравнений альтернатив по отношению к критерию «Трудоемкость восстановительных работ», полученная на основании экспертных данных, представлена на рисунке 2.

При этом СППР «Решение» вычисляет значения приоритетов, степень заблуждения, индекс согласованности и значение отношения согласованности. По значению приоритета в 18,3 альтернатива «Способ № 2» превосходит остальные относительно трудоемкости восстановительных работ.

При этом значение отношения согласованности матрицы парных сравнений равно 5,5%, что не превышает рекомендуемое значение в 10 %. Анализируя представленные данные, можно сделать вывод о согласованности суждений эксперта и корректности результатов сравнения способов.

Аналогично построены матрицы сравнения альтернатив по остальным критериям (рис. 3-6), значения которых имеют высокую степень согласованности и дают непротиворечивую информацию.

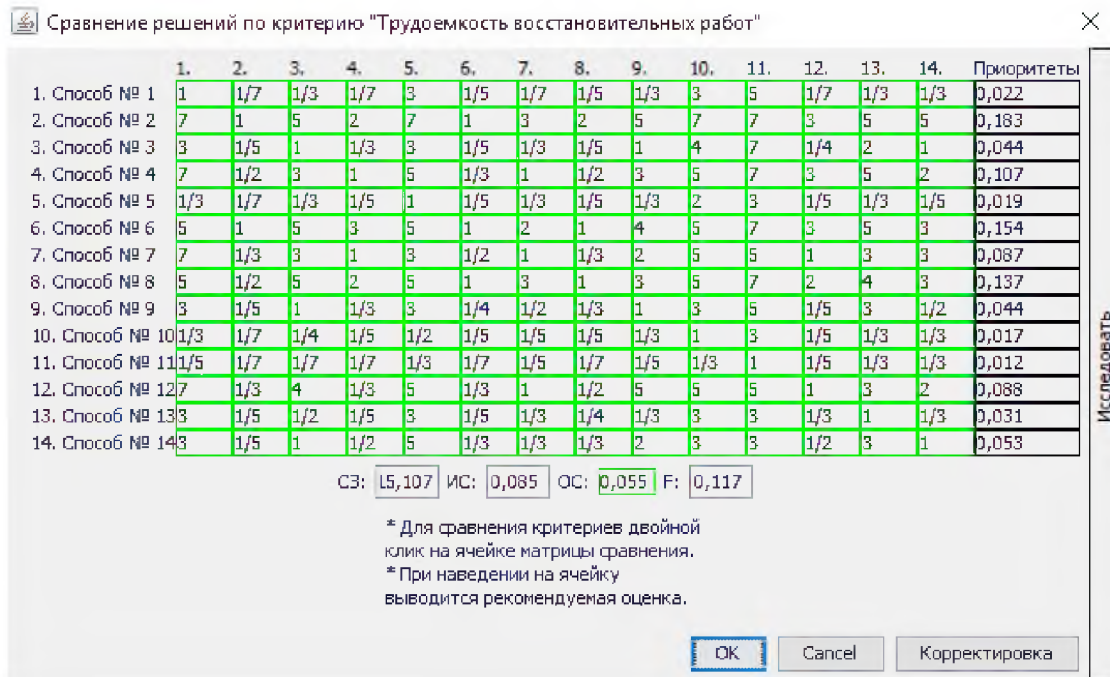


Рис. 2. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Трудоемкость восстановительных работ»
Fig. 2. Matrix of pair comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "The complexity of recovery work"

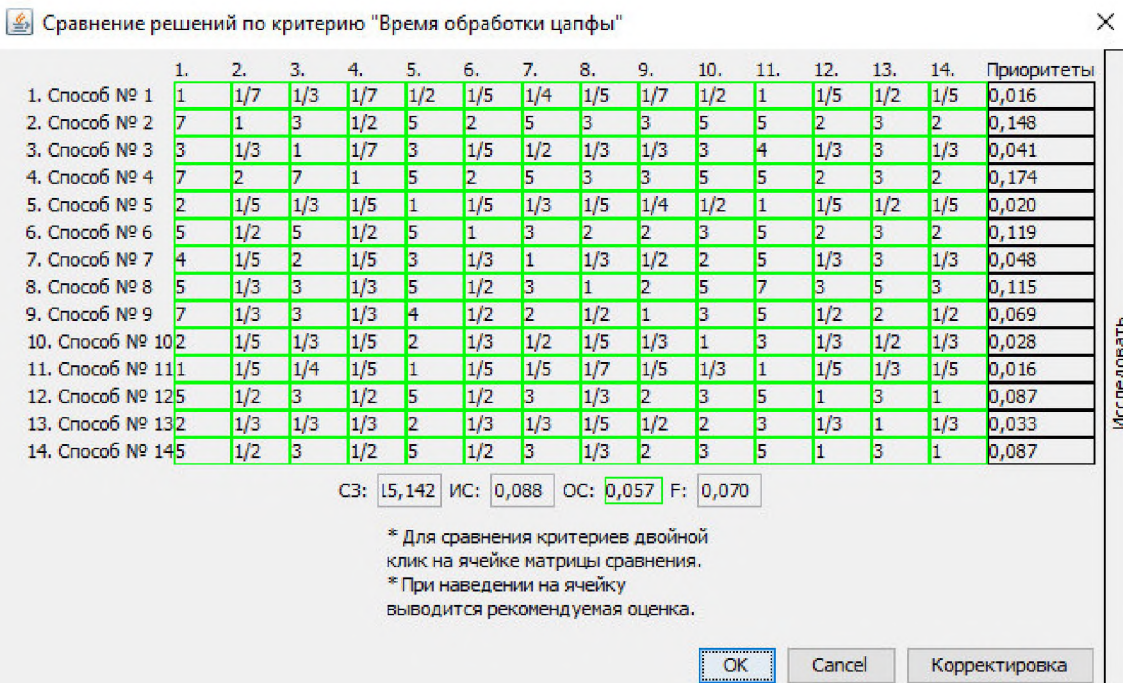


Рис. 3. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Время обработки цапфы»
Fig. 3. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion of "Time of process axle"

Сравнение решений по критерию "Износ инструмента"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/2	7	7	5	5	1/2	5	5	7	1	1	1/3	5	0,112
2. Способ № 2	2	1	7	7	5	5	1	5	5	7	2	2	1	5	0,155
3. Способ № 3	1/7	1/7	1	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1/7	1/3	0,014
4. Способ № 4	1/7	1/7	1	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1/7	1/3	0,014
5. Способ № 5	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
6. Способ № 6	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
7. Способ № 7	2	1	7	7	5	5	1	5	5	7	2	2	1	5	0,155
8. Способ № 8	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
9. Способ № 9	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
10. Способ № 10	1/7	1/7	2	2	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/2	0,017
11. Способ № 11	1	1/2	6	6	4	4	1/2	4	4	5	1	1	1/3	5	0,100
12. Способ № 12	1	1/2	6	6	4	4	1/2	4	4	5	1	1	1/3	5	0,100
13. Способ № 13	3	1	7	7	5	5	1	5	5	7	3	3	1	5	0,169
14. Способ № 14	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	2	1/5	1/5	1/5	1	0,031

СЗ: 14,550 ИС: 0,042 ОС: 0,027 F: 0,045

* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.
* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 4. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Износ инструмента»

Fig. 4. Matrix of paired comparisons of treatment parameters in relation to the criterion of "Tool wear"

Сравнение решений по критерию "Точность геометрических параметров восстановленной цапфы"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/9	0,011
2. Способ № 2	5	1	5	1	3	3	3	3	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1/5	0,039
3. Способ № 3	3	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/7	0,014
4. Способ № 4	5	1	5	1	3	3	3	3	1/4	1/3	1/4	1/4	1/7	1/5	0,041
5. Способ № 5	3	1/3	3	1/3	1	1	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,020
6. Способ № 6	3	1/3	3	1/3	1	1	1	3	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,022
7. Способ № 7	3	1/3	3	1/3	1	1	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,020
8. Способ № 8	3	1/3	1	1/3	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/5	0,018
9. Способ № 9	5	5	5	4	5	5	5	5	1	3	1/2	1/4	1/7	1/5	0,080
10. Способ № 10	5	3	5	3	5	5	5	5	1/3	1	1/4	1/5	1/5	1/5	0,062
11. Способ № 11	7	5	7	4	7	7	7	7	2	4	1	1/2	1/4	1/4	0,116
12. Способ № 12	7	5	7	4	7	7	7	7	4	5	2	1	1/4	1/2	0,144
13. Способ № 13	9	7	9	7	7	7	7	7	7	5	4	4	1	2	0,233
14. Способ № 14	9	5	7	5	7	7	7	5	5	5	4	2	1/2	1	0,180

СЗ: 15,919 ИС: 0,148 ОС: 0,096 F: 0,111

* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.
* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 5. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Точность геометрических параметров восстановленной цапфы»

Fig. 5. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "Accuracy of the geometric parameters of the restored axle"

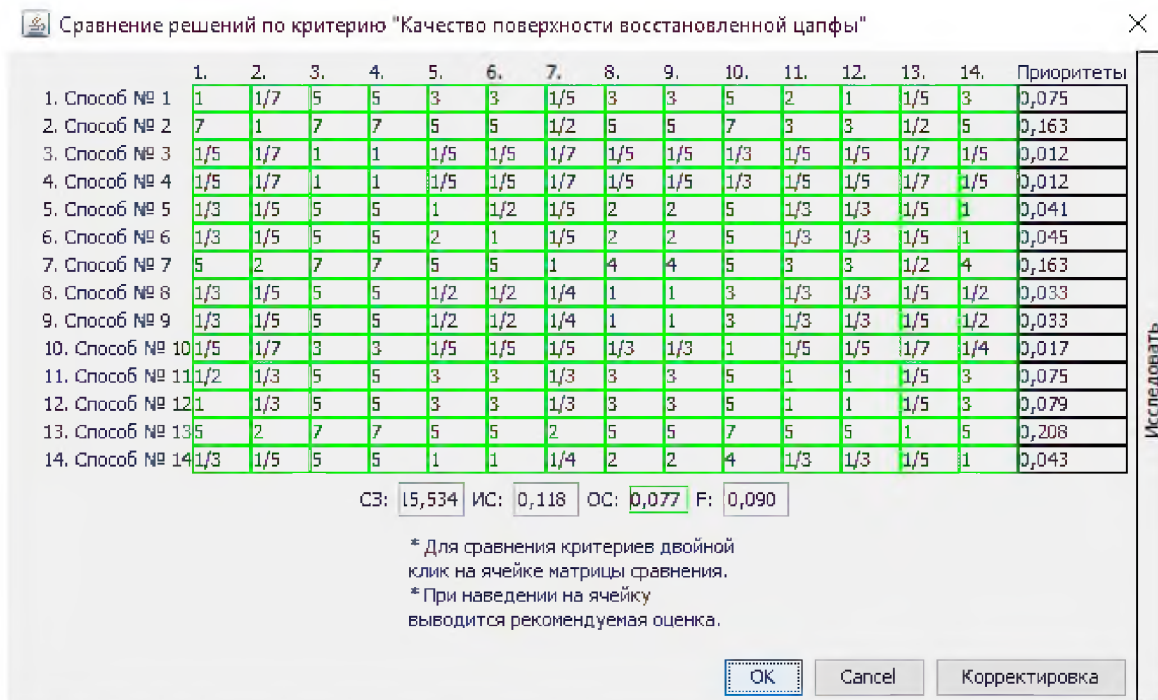


Рис. 6. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Качество поверхности восстановленной цапфы»

Fig. 6. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "Quality of the restored surface of the axle"

Далее тем же методом строится матрица парных сравнений критериев. В данном случае, эксперт принимает решение приоритетности в пользу трудоемкости восстановительных работ, не пренебрегая при этом качеством поверхности цапфы (рисунок 7).

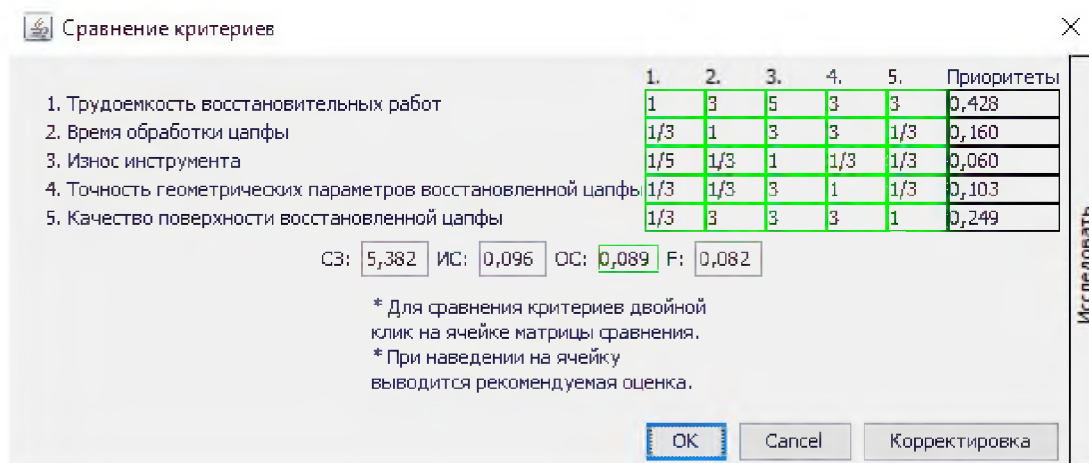


Рис. 7. Матрица парных сравнений критериев

Fig. 7. Matrix of pairwise comparisons of criteria

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результатом проведенных оценок альтернатив является расчет рационального способа обработки (рисунок 8). Согласно методу анализа иерархий, оптимальным способом обработки при восстановлении цапф является «Способ № 2», значение приоритета 15,6 %. Параметры обработки характеризуются следующими значениями: передний угол варьируется в пределах 10-30°, угол

установки – в пределах 20-30°, угол поворота вокруг оси резца – 10-30°, радиус режущей чаши – 0-10 мм, частота вращения – от 1 до 2 оборотов в минуту.

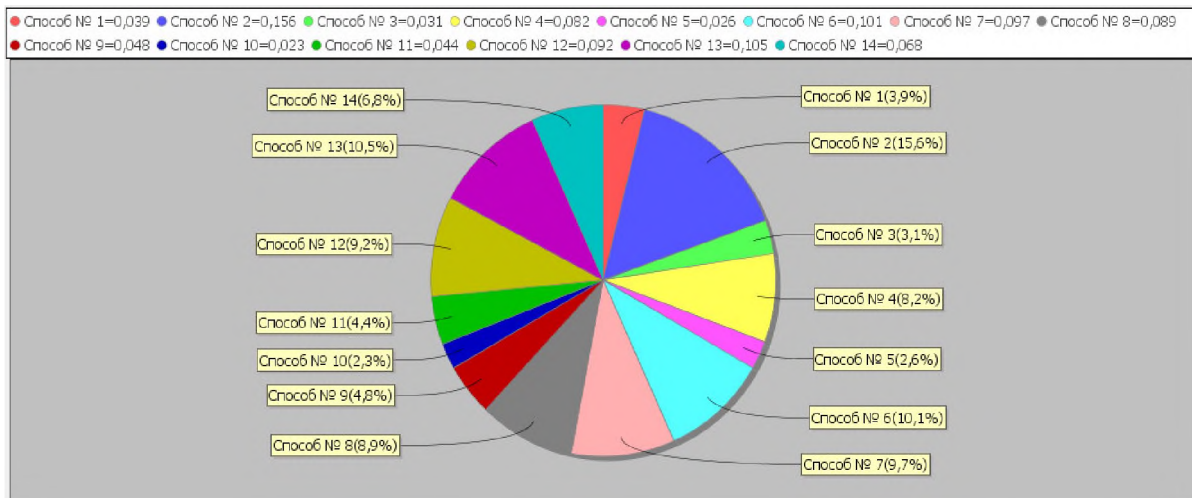


Рис. 8. Диаграмма результатов расчетов приоритетов способов обработки при восстановлении цапфы

Fig. 8. Diagram of calculation results of the priorities, methods of processing of restoring the axle

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подтвержден многокритериальный метод принятия решения – метод анализа иерархий, применен алгоритм оценки и повышения степени согласованности матриц парных сравнений. Предложенный метод экспертной оценки позволяет осуществить выбор параметров обработки, понизить трудоемкость восстановительных работ при неизменном качестве восстановленной поверхности цапфы мельницы.

Список литературы

1. Lomakin V.V., Afonin A.N., Reznichenko T.A. Smart means for the estimation and selection of efficient subtractive machining strategies // Jr. of Industrial Pollution Control. 2017. № 33(1). PP. 981-987.
2. Бестужева О.В., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. Экспериментальное исследование восстановления поверхности вращения крупногабаритных деталей промышленного оборудования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 122-127.
3. Исследование зависимости площади среза от технологических параметров и режимов ротационной обработки крупногабаритной детали / Маркова О.В., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. // Технология машиностроения. 2016. № 5. С. 14-20.
4. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 1798 – 1803.
5. Ломакин В.В., Лифиренко М.В., Асадуллаев Р.Г. Комплекс критериев и алгоритмическое обеспечение процесса принятия решений при создании систем управления наружным освещением // Фундаментальные исследования: научный журнал. 2014. №11. С. 2370-2374.
6. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 176 с.
7. Принятие решений при выборе структурно-компоновочной схемы оборудования для субтрактивной обработки с нанометровой точностью / Ломакин В.В., Афонин А.Н., Асадуллаев Р.Г., Лифиренко М.В. // Научные ведомости. Серия Экономика. Информатика. 2015. № 7. С. 175-182.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

10. Ящерицын П.И., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. М.: Наука и техника, 1987. 228 с.

References

1. Lomakin V. V., Afonin A. N., Reznichenko T. A. Smart means for the estimation and selection of efficient subtractive machining strategies // Jr. of Industrial Pollution Control. 2017. No. 33(1). PP. 981-987.
2. Bestuzhev O. V., Fedorenko M. A., Bondarenko Y. A. Experimental study of the recovery of a surface of revolution of large parts of industrial equipment // Vestnik BGTU after V. G. Shukhov. 2016. No. 11. PP. 122-127.
3. The dependence of the area of the slice from the technological parameters and modes for the rotary machining of large parts / Markova O. V., Fedorenko M. A., Bondarenko Y. A., Sanina T. M. // Technology of mechanical engineering. 2016. No. 5. PP. 14-20.
4. Lomakin V. V., Lifirenko M.V. An algorithm to increase the degree of consistency of the pairwise comparison matrix when conducting expert interviews // Fundamental research. 2013. No. 11. PP. 1798 – 1803.
5. Lomakin V. V., Lifirenko M.V., Ibrahimov, R.G. Complex criteria and algorithmic support of decision-making at creation of control systems for external lighting // Fundamental research: the scientific journal. 2014. No. 11. PP. 2370-2374.
6. Nogin V. D. decision Making in multicriteria environment: a quantitative approach. M.: FIZMATLIT, 2002. 176 p.
7. Decisions when choosing structurally-layout scheme of the equipment for subtractive processing with nanometer precision / Lomakin V.V., Afonin A.N., Asadullayev R.G., Lifirenko M.V. // Scientific Bulletin. The Economic Series. Informatics. 2015. No. 7. PP. 175-182.
8. Saati T. Decision-Making. Method of analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. 278 p.
9. Saati T., Kerns K. Analytical planning. The organization systems. M.: Radio and communication, 1991. 224 p.
10. Yastcheritsyn P.I., Drivotin I.G., Lebedev V.Ya. Rotary cutting of materials. M.: Nauka I Tekhnika, 1987. 228 p.

Бондаренко Юлия Анатольевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения

Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий

Бестужева Ольга Васильевна, магистрант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Bondarenko Julia Anatolyevna, doctor of technical sciences, docent, professor of the Department of mechanical engineering

Lomakin Vladimir Vasilyevich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of applied informatics and information technologies

Bestuzheva Olga Vasilievna, master student of the Department of applied informatics and information technologies