

УДК 004.891.2

DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-178-188

О выборе параметров восстановления крупногабаритного оборудования

Явурик О.В., Петина М.А., Явурик В.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г.Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: yavurik@bsu.edu.ru, petina_m@bsu.edu.ru

Аннотация. Восстановление крупногабаритного оборудования является сложным и многофакторным процессом, который требует учета множества параметров и условий. В статье описана разработка экспертной системы для выбора параметров восстановления крупногабаритного оборудования, позволяющей определить параметры обработки при заданных критериях. Разработана онтология предметной области: проведен предварительный анализ, построен оргграф предметной области. Определены основные понятия предметной области. Установлены входные и выходные данные системы. Выбрана программная оболочка для разработки экспертной системы с удобным и эргономичным интерфейсом. Составлен перечень вопросов с допустимыми ответами. Разработан проект базы знаний, включающей в себя набор фреймов и правил. Построено дерево решений для предметной области. Разработана и протестирована экспертная система для выбора параметров восстановления крупногабаритного оборудования. Составлена таблица объяснений полученных выводов экспертной системы.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, фреймовая модель представления знаний, поддержка принятия решений, параметры восстановления, крупногабаритное оборудование

Для цитирования: Явурик О.В., Петина М.А., Явурик В.В. 2024. О выборе параметров восстановления крупногабаритного оборудования. Экономика. Информатика, 51(1): 178–188. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-178-188

On Selection of Parameters for the Restoration of Large-Sized Equipment

Olga V. Yavurik, Marya A. Petina, Vladimir V. Yavurik

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: yavurik@bsu.edu.ru, petina@bsu.edu.ru

Abstract. The restoration of large-sized equipment is a complex and multifactorial process that requires consideration of many parameters and conditions. The article describes the development of an expert system for selecting recovery parameters for large-sized equipment, which allows determining processing parameters under specified criteria. The ontology of the subject area has been developed: a preliminary analysis has been carried out, a digraph of the subject area has been constructed. The basic concepts of the subject area are defined. The input and output data of the system are set. A software shell has been selected for the development of an expert system with a convenient and ergonomic interface. A list of questions with acceptable answers has been compiled. A knowledge base project has been developed that includes a set of frames and rules. A decision tree has been built for the subject area. An expert system has been developed and tested to select recovery parameters for large-sized equipment. A table of explanations of the conclusions of the expert system has been compiled.

Keywords: expert system, knowledge base, knowledge representation frame model, decision support, recovery parameters, large-sized equipment

For citation: Yavurik O.V., Petina M.A., Yavurik V.V. 2024. On Selection of Parameters for the Restoration of Large-Sized Equipment. Economics. Information technologies, 51(1): 178–188. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-178-188

Введение

Информационные технологии на производственных предприятиях являются неотъемлемой частью современного бизнеса. В условиях быстрого развития технологий использование информационных технологий стало необходимостью для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий [Андрейчиков, 2020; Воронов, 2024].

Применение информационных технологий позволяет решать множество задач, связанных с автоматизацией производственных процессов [Березина, 2018]. Отслеживание производственных операций, управление запасами и логистикой, контроль качества и процесса производства – все эти задачи теперь можно решать при помощи специализированных программ и программных комплексов [Джексон, 2020].

Экспертные системы при ремонте и восстановлении крупногабаритного оборудования являются неотъемлемой и важной частью современной индустрии [Кочаненкова, 2023]. Эти системы представляют собой уникальные и высокотехнологичные решения, которые позволяют определить и устранить проблемы в работе крупной техники с помощью компьютерных алгоритмов и искусственного интеллекта [Авагимова, 2019].

Одной из главных преимуществ экспертных систем является их способность к диагностике и определению неисправностей в работе крупногабаритного оборудования [Иванов, 2019]. Благодаря анализу большого объема данных, собранных из различных источников, эти системы способны точно и быстро определить причину сбоя или поломки и предложить соответствующие рекомендации по ремонту.

Объекты и методы исследования

При разработке онтологии предметной области требуется провести предварительный анализ, построить онтограф с вершинами понятий и дугами связи между ними, после чего спроектировать графически онтологию и составить формализованное описание [Антонов, 2021; Степанов, 2019].

Разработка экспертной системы нацелена на предоставление информации о состоянии цапфы шаровой мельницы и помощь рядовому сотруднику в выборе оптимальных параметров восстановления цапфы [Bondarenko, 2019], то есть оптимальное решение из множества альтернатив, представляющих собой набор параметров восстановления, с учетом выбранных критериев [Явурик, 2023].

Основные понятия предметной области для ее понимания следующие:

- Шаровая мельница;
- Точность обработки;
- Эксплуатация оборудования;
- Шероховатость поверхности.
- Период эксплуатации;
- Отклонение от номинального диаметра;
- Ремонт оборудования;
- Текущий ремонт;
- Частота вращения;
- Скорость резания;
- Ротационный резец;
- Угол установки резца;
- Радиус режущей чаши ротационного резца;

Проанализировав предметную область, были выбраны входные данные системы [Ломакин, 2021]:

- размер шаровой мельницы, подлежащей ремонту;
- период эксплуатации шаровой мельницы с последнего произведенного текущего (капитального) ремонта;
- величина максимального отклонения от номинального диаметра опорного узла – цапфы шаровой мельницы;
- требуемое качество обработанной поверхности.

Выходные данные в данном случае:

- вид ремонта шаровой мельницы;
- частота вращения при восстановлении цапфы;
- углы установки и радиус режущей чаши инструмента.

На рисунке 1 представлено графическое проектирование онтографа предметной области [Понкин, 2023].



Рис. 1. Графическое проектирование онтографа предметной области «Восстановление цапфы шаровой мельницы в условиях эксплуатации»

Fig. 1. Graphic design of the ontograph of the subject area “Restoration of a ball mill trunnion under operating conditions”

На рисунке 2 показана онтограф фрагмента [Степанов, 2019] предметной области «Восстановление цапфы шаровой мельницы в условиях эксплуатации».

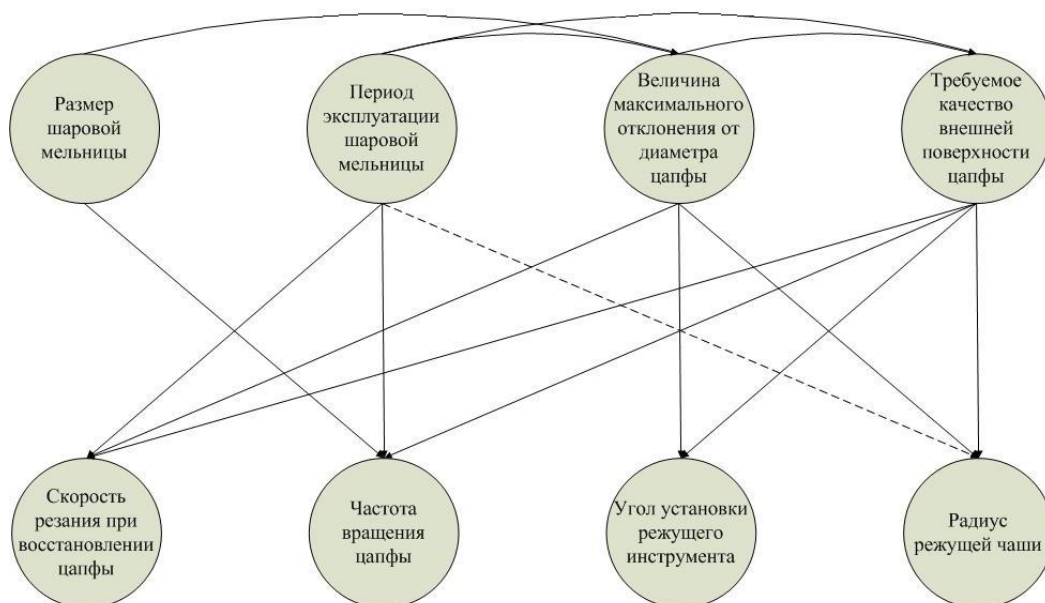


Рис. 2. Онтограф фрагмента предметной области «Восстановление цапфы шаровой мельницы в условиях эксплуатации»

Fig. 2. Ontograph of a fragment of the subject area “Restoration of a ball mill journal under operating conditions”

Для решения поставленной задачи выбрана оболочка EsWin, которая предназначена для разработки экспертных систем, поддерживающих диагностику, конфигурацию, идентификацию и принятие решений [Ездаков, 2009]. Данная оболочка для представления знаний предметной области основывается на фреймах, правила-продукциях и лингвистических переменных. Совокупность взаимосвязанных понятий предметной области описывается фреймами, сложно связанными между собой [Кочаненкова, 2023]. Выбранная программная оболочка позволит упростить разработку экспертной системы и обеспечить удобный и эргономичный интерфейс для пользователя системы.

Основная цель разработанной системы заключается в формировании мнения о предпочтительности выбора параметров при восстановлении крупногабаритного оборудования [Бестужева, 2018].

Для работы системы требуются значения основных параметров, которые вводятся пользователем с возможностью уточнения или добавления [Кравченко, 2024]:

1. Размер шаровой мельницы.
2. Период эксплуатации шаровой мельницы.
3. Величина максимального отклонения от диаметра цапфы.
4. Требуемое качество внешней поверхности цапфы.

Ниже представлен перечень вопросов, исходя из выбранных исходных данных с допустимыми ответами (таблица 1).

Таблица 1
Table 1

Перечень вопросов и допустимых ответов
List of questions and acceptable answers

Вопрос	Допустимые ответы
Размер шаровой мельницы составляет	- 2,6x13 м; - 3x14 м; - 3,2x15 м; - 4x13,5 м.
Период эксплуатации шаровой мельницы с последнего произведенного текущего (капитального) ремонта составляет	- менее 0,5 года; - от 0,5 до 1 года; - от 1 до 2 лет; - более 2 лет.
Величина максимального отклонения от диаметра цапфы шаровой мельницы не превышает	Любое численное значение
Требуемое качество внешней поверхности цапфы шаровой мельницы	- Ra 1,25 мкм; - Ra 2,5 мкм.

Экспертная система, разработанная для поддержки восстановления шаровой мельницы, представляет собой проект, основанный на двух компонентах: программная оболочка и база знаний [Ездаков, 2009]. База знаний, в свою очередь, включает в себя набор фреймов и правил, которые обеспечивают оптимальный выбор параметров восстановления. Фреймами в данной экспертной являются Параметры и Цель [Иванов, 2018].

Параметрами являются:

- Размер:(2,6x13 м; 3x14 м; 3,2x15 м; 4x13,5 м) [Размер шаровой мельницы составляет];
- Период:(менее 0,5 года; от 0,5 до 1 года; от 1 до 2 лет; более 2 лет) [Период эксплуатации шаровой мельницы с последнего произведенного текущего (капитального) ремонта составляет];
- Отклонение(численный): [Величина максимального отклонения от диаметра цапфы шаровой мельницы не превышает];
- Качество:(Ra 1,25; Ra 2,5) [Требуемое качество внешней поверхности цапфы шаровой мельницы].

Фрейм Цель представлен как Способ обработки цапфы мельницы в условиях эксплуатации ().

Правила, составляющие Базу Знаний экспертной системы, представлены в виде Правил (пример Правила 4):

RULE 4

= (Параметры.Размер; 2,6x13 м)

= (Параметры.Период; от 0,5 до 1 года)

< (Параметры.Отклонение; 2,5)

= (Параметры.Качество; Ra 1,25)

DO

= (Цель.Способ обработки цапфы мельницы в условиях эксплуатации; 4) 100 (вероятность)

ENDR

На рисунке 3 представлен оргграф решения выбора вида ремонта в зависимости от периода эксплуатации мельницы с последнего ремонта – капитального или текущего [Пенчук, 2023].



Рис. 3. Оргграф решения выбора вида ремонта
 Fig. 3. Digraph of the solution for choosing the type of repair

На рисунке 4 представлено дерево решений для предметной области «Восстановление цапфы шаровой мельницы в условиях эксплуатации» [Смирнов, 2019].

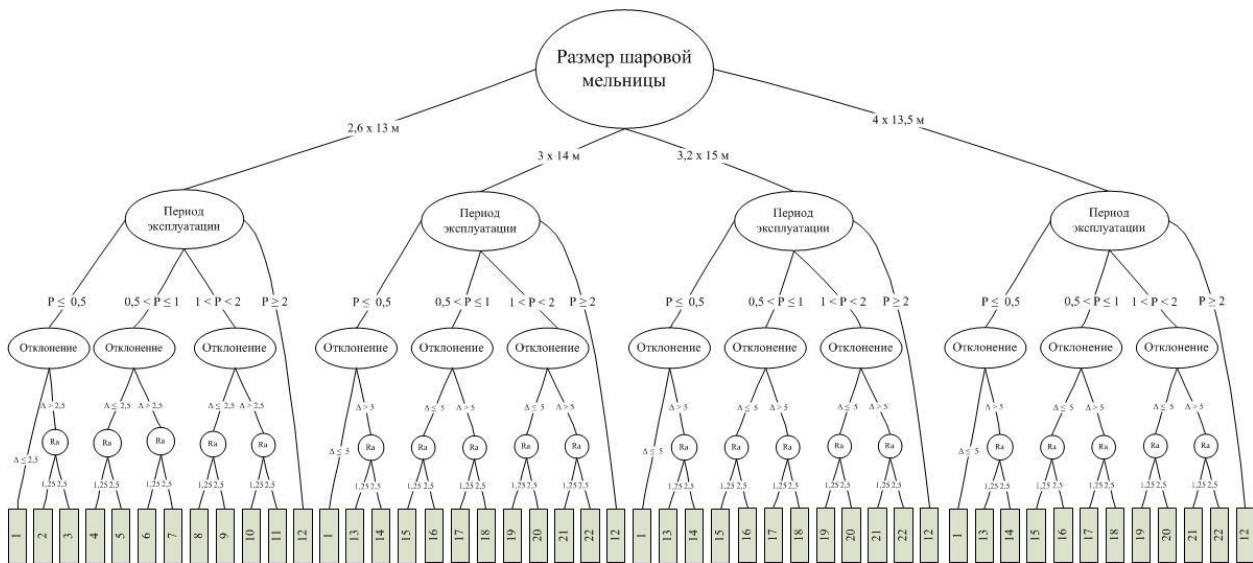


Рис. 4. Дерево решений для предметной области «Восстановление цапфы шаровой мельницы в условиях эксплуатации»

Fig. 4. Decision tree for the subject area "Restoration of the ball mill trunnion under operating conditions"

Для выбора параметров восстановления цапф мельниц в условиях эксплуатации при открытии программной оболочки ESWin требуется загрузить Базу знаний [Черманов, 2016]. После ее запуска требуется нажать кнопку «Решение», после чего появятся окна с вопросами для решения поставленной задачи (рисунки 5–8).

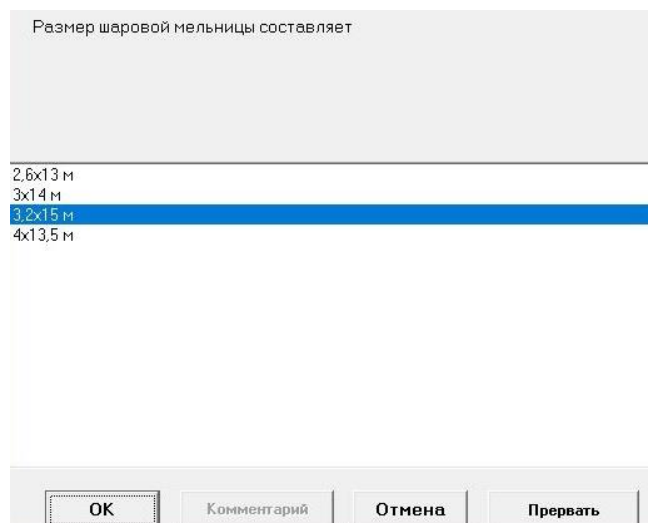


Рис. 5. Окно выбора параметра «Размер шаровой мельницы»

Fig. 5. The window for selecting the "Ball mill size" parameter

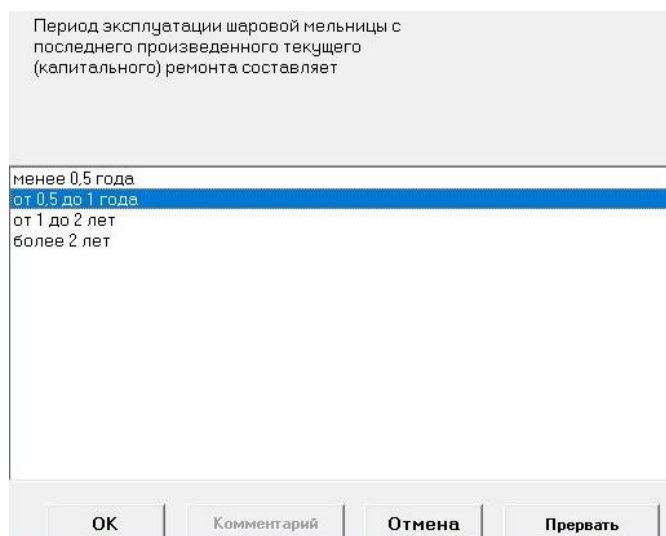


Рис. 6. Окно выбора параметра «Период эксплуатации шаровой мельницы с последнего произведенного текущего (капитального) ремонта»

Fig. 6. Window for selecting the parameter "The period of operation of the ball mill since the last ongoing (major) repair"

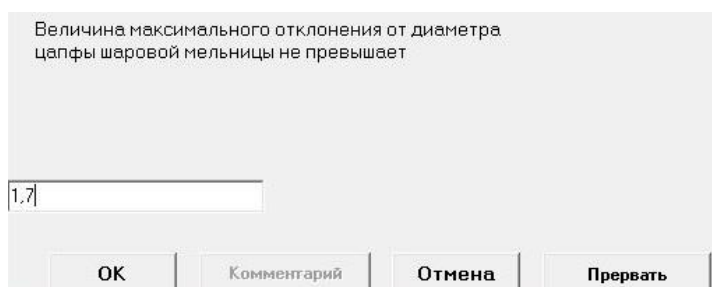


Рис. 7. Окно выбора параметра «Величина максимального отклонения от диаметра цапфы шаровой мельницы»

Fig. 7. Window for selecting the parameter "The value of the maximum deviation from the diameter of the ball mill trunnion"

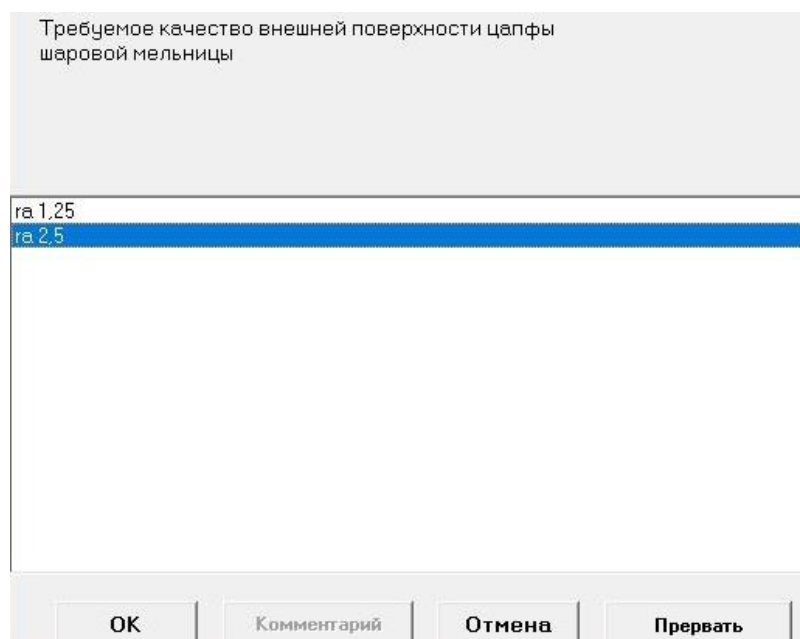


Рис. 8. Окно выбора параметра «Требуемое качество внешней поверхности цапфы»
Fig. 8. Window for selecting the parameter “Required quality of the external surface of the trunnion”

После выбора и ввода ответов программа выдаст ответ, соответствующий правилам из Базы знаний (рисунок 9).

```
ЦЕЛЬ >> способ обработки цапфы мельницы в условиях эксплуатации  
РЕШЕНИЕ:  
цель.способ обработки цапфы мельницы в условиях эксплуатации = 16 с уверенностью 100 %  
(Правило 29)
```

Рис. 9. Решение вводимых данных
Fig. 9. Solution of input data

Результаты и их обсуждение

После проведенного тестирования экспертной системы для выбора параметров восстановления шаровых мельниц можно сделать вывод о ее высокой эффективности и точности в принятии решений. Система проявляет высокий экспертный уровень при решении сложных задач, требующих глубоких знаний и опыта в данной предметной области. Надежность и точность рекомендаций, предоставляемых системой, позволяют значительно улучшить процесс восстановления шаровых мельниц и повысить производительность работы на предприятии.

Например, период эксплуатации шаровой мельницы на предприятии не превышает полугод, при этом максимальное значение отклонения от диаметра цапфы не превышает 2,5 мм, вне зависимости от шероховатости, в данном случае ремонт не требуется. При этом, если величина отклонения от номинального диаметра превышает 2,5 мм и в зависимости от требуемой шероховатости будут выбраны числовые значения частоты вращения и геометрических параметров резца, которые позволят соблюдать качество поверхности.

Для объяснения полученных выводов экспертной системы составлена таблица 2.

Таблица 2
 Table 2

Объяснение полученных выводов экспертной системы
 Explanation of the findings of the expert system

№	P, г.	Δ , мм	Ra, мкм	Вид ремонта шаровой мельницы	Частота вращения, об/мин	Геометрические параметры резца	
						Углы установки резца	Радиус режущей чаши R, мм
1	$P \leq 0,5$	$\Delta \leq 2,5$	-	Ремонт не требуется	-	-	-
2	$P \leq 0,5$	$\Delta > 2,5$	1,25	Текущий ремонт	1	$\gamma=10-12^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=10-30^\circ$	0 - 10
3	$P \leq 0,5$	$\Delta > 2,5$	2,5	Текущий ремонт	2	$\gamma=12-14^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=50-70^\circ$	0 - 10
4	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta \leq 2,5$	1,25	Текущий ремонт	3	$\gamma=12^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=50-70^\circ$	0 - 10
5	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta \leq 2,5$	2,5	Текущий ремонт	1	$\gamma=14^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=30-50^\circ$	10 - 20
6	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta > 2,5$	1,25	Текущий ремонт	2	$\gamma=14^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=10-30^\circ$	20 - 30
7	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta > 2,5$	2,5	Текущий ремонт	3	$\gamma=16^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=10-30^\circ$	20 - 30
8	$1 < P < 2$	$\Delta \leq 2,5$	1,25	Капитальный ремонт	3	$\gamma=16^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=10-30^\circ$	20 - 30
9	$1 < P < 2$	$\Delta \leq 2,5$	2,5	Капитальный ремонт	1	$\gamma=18^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=50-70^\circ$	20 - 30
10	$1 < P < 2$	$\Delta > 2,5$	1,25	Капитальный ремонт	1	$\gamma=10-30^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=50-70^\circ$	20 - 30
11	$1 < P < 2$	$\Delta > 2,5$	2,5	Капитальный ремонт	3	$\gamma=30-50^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=30-50^\circ$	0 - 10
12	$P \geq 2$	-	-	Замена цапфы	-	-	-
13	$P \leq 0,5$	$\Delta > 2,5$	1,25	Текущий ремонт	2	$\gamma=30-50^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=30-50^\circ$	10 - 20
14	$P \leq 0,5$	$\Delta > 2,5$	2,5	Текущий ремонт	3	$\gamma=30-50^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=30-50^\circ$	10 - 20
15	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta \leq 2,5$	1,25	Текущий ремонт	3	$\gamma=30-50^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=30-50^\circ$	10 - 20
16	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta \leq 2,5$	2,5	Текущий ремонт	3	$\gamma=30-50^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=50-70^\circ$	10 - 20
17	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta > 2,5$	1,25	Текущий ремонт	1	$\gamma=30-50^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=30-50^\circ$	20 - 30
18	$0,5 \leq P \leq 1$	$\Delta > 2,5$	2,5	Текущий ремонт	2	$\gamma=30-50^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=10-30^\circ$	0 - 10
19	$1 < P < 2$	$\Delta \leq 2,5$	1,25	Капитальный ремонт	1	$\gamma=50-70^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=10-30^\circ$	0 - 10
20	$1 < P < 2$	$\Delta \leq 2,5$	2,5	Капитальный ремонт	3	$\gamma=50-70^\circ, \omega=0-10^\circ, \varphi=50-70^\circ$	0 - 10
21	$1 < P < 2$	$\Delta > 2,5$	1,25	Капитальный ремонт	1	$\gamma=50-70^\circ, \omega=20-30^\circ, \varphi=50-70^\circ$	0 - 10
22	$1 < P < 2$	$\Delta > 2,5$	2,5	Капитальный ремонт	2	$\gamma=50-70^\circ, \omega=10-20^\circ, \varphi=30-50^\circ$	10 - 20

Заключение

В процессе разработки экспертной системы были рассмотрены и учтены основные характеристики и требования к параметрам восстановления оборудования.

Первоначально был проведен анализ исходных данных, включающий данные о состоянии оборудования, его возрасте, спецификации, а также требования к его восстановлению. Эти данные были внесены в базу знаний экспертной системы.

Следующим шагом было определение ключевых критериев, которые влияют на выбор параметров восстановления оборудования. К таким критериям можно отнести стоимость восстановления, сроки выполнения работ, качество результата, надежность восстановленного оборудования и его совместимость с другими техническими системами.

Для определения оптимальных параметров восстановления экспертная система использовала стандартные алгоритмы машинного обучения и интеллектуальные методы анализа данных. С использованием искусственного интеллекта система смогла предложить различные варианты параметров восстановления, учитывая все ранее определенные критерии.

Список литературы

- Авагимов Ю.А. 2019. Экспертная система для составления графиков ремонтов и отключений. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 144 с.
- Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. 2020. Интеллектуальные информационные системы. М.: Финансы и статистика, 502 с.
- Антонов А.А., Быков А.Н., Чернышев С.А. 2021. Обзор существующих способов формирования онтологии предметной области при моделировании. *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*, 4(22): 12–17.
- Березина А.Ф., Кагарманова А.Б., Муратова А.Р. 2018. Современные информационные технологии в экспертной деятельности. *Форум молодых ученых*, 9: 59–62.
- Бестужева О.В. 2018. Снижение временных затрат на капитальный ремонт мельницы в условиях эксплуатации. *Вестник Иркутского государственного технологического университета*, 12: 14–20.
- Воронов М.В., Пименов В.И., Небаев И.А. 2024. Системы искусственного интеллекта. М.: Издательство Юрайт, 268 с.
- Джексон П. 2020. Введение в экспертные системы. Изд.дом «Вильямс», 624 с.
- Ездаков А.Л. 2009. Экспертные системы САПР. М.: Форум, 160 с.
- Иванов А.Н., Петрова В.А. 2018. Применение экспертных систем в технике. *Наука и техника*, 3: 45–53.
- Иванов П.П. 2019. Экспертные системы в инженерии. СПб.: Лань, 192 с.
- Кочаненкова А.А., Винниченко А.С. 2023. Применение современных технологий для решения задач эксперта. *Скиф*, 1 (77): 374–377.
- Кравченко Т.К., Исаев Д.В. 2024. Системы поддержки принятия решений: учебник и практикум для вузов. М.: Издательство Юрайт, 327 с.
- Ломакин В.В., Явурик О.В. 2021. Многокритериальный выбор номенклатуры показателей надежности оборудования: Сборник докладов национальной конференции Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова: 65–70.
- Пенчук В.А., Сидоров В.А. 2023. Современное развитие технической диагностики машин и оборудования. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 5: 15–20.
- Понкин И.В. 2023. Онтологии как инструментарий прикладной аналитики. *International Journal of Open Information Technologies*, 2: 77–84.
- Смирнов Е.И., Козлов А.М. 2019. Современные технологии применения экспертных систем в технике. *Техническое творчество*, 2: 78–86.
- Степанов И.С., Серенко А.А. 2019. Разработка экспертных систем на базе онтологий предметных областей: Материалы X Международной научно-технической конференции. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения: 435–438.
- Черманов И.Г., Ставец И.П. 2016. Экспертные системы: Искусственный интеллект. СПб.: БХВ-Петербург, 220 с.
- Явурик О.В. 2023. Применение системного подхода к прогнозированию надежности робототехнических комплексов. *Механическое оборудование металлургических заводов*, 1(20): 4–9.
- Bondarenko J. A., Bestuzheva O. V., Get'man Y. A. 2019. Methods of Multi-Criterial Optimization of Machining Process. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern

Technologies, FarEastCon 2019. Vladivostok, Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc: 826-834.

References

- Avagimova Yu.A. 2019. An expert system for scheduling repairs and shutdowns. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 144 p. (in Russian)
- Andreychikov A.V., Andreychikova O.N. 2020. Intelligent information systems. M.: Finance and Statistics, 502 p. (in Russian)
- Antonov A. A., Bykov A.N., Chernyshev S.A. 2021. An overview of the existing ways of forming the ontology of the subject area in modeling. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 4(22): 12–17. (in Russian)
- Berezina A.F., Kagarmanova A.B., Muratova A.R. 2018. Modern information technologies in expert activity. *Forum of Young Scientists*, 9: 59–62. (in Russian)
- Bestuzheva O.V. 2018. Reducing the time spent on the overhaul of the mill under operating conditions. *Bulletin of Irkutsk State Technological University*, 12:14-20. (in Russian)
- Voronov M. V. Pimenov V.I., Nebaev I.A. 2024. Artificial intelligence systems. Moscow: Yurayt Publishing House, 268 p. (in Russian)
- Jackson P. 2020. Introduction to expert systems. Publishing house "Williams", 624 p.
- Ezdaikov A.L. 2009. Expert CAD systems. Moscow: Forum, 160 p. (in Russian)
- Ivanov A.N., Petrova V.A. 2018. The use of expert systems in engineering. *Science and Technology*, 3: 45–53.
- Ivanov P.P. 2019. Expert systems in engineering. St. Petersburg: Lan, 192 p. (in Russian)
- Kochanenkova A.A., Vinnichenko A.S. 2023. The use of modern technologies to solve the tasks of an expert. *Skif*, 1 (77): 374–377. (in Russian)
- Kravchenko T. K., Isaev D. V. 2024. Decision support systems: textbook and workshop for universities. Moscow: Yurayt Publishing House, 327 p. (in Russian)
- Lomakin V. V., Yavurik O.V. 2021. Multi-criteria selection of the nomenclature of equipment reliability indicators.: Collection of reports of the national conference Machines, aggregates and processes in the construction industry. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov: 65–70. (in Russian)
- Penchuk V. A., Sidorov V.A. 2023. Modern development of technical diagnostics of machines and equipment. *Repair. Recovery. Modernization*, 5: 15–20. (in Russian)
- Ponkin I. V. 2023. Ontologies as tools of applied analytics. *International Journal of Open Information Technologies*, 2: 77–84. (in Russian)
- Smirnov E.I., Kozlov A.M. 2019. Modern technologies for the use of expert systems in engineering. *Technical creativity*, 2: 78–86. (in Russian)
- Stepanov I. S., Serenko A.A. 2019. Development of expert systems based on ontologies of subject areas *Materials of the X International Scientific and Technical Conference*. Novosibirsk: Siberian State University of Railway Engineering: 435–438. (in Russian)
- Chermanov I.G., Stavets I.P. 2016. Expert systems: Artificial intelligence. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 220 p. (in Russian)
- Yavurik O. V. 2023. Application of a systematic approach to forecasting the reliability of robotic systems. *Mechanical equipment of metallurgical plants*, 1(20):4–9. (in Russian)
- Bondarenko J. A., Bestuzheva O. V., Get'man Y. A. 2019. Methods of Multi-Criterial Optimization of Machining Process. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. Vladivostok, Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc: 826–834.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 29.01.2024

Поступила после рецензирования 21.02.2024

Принята к публикации 29.02.2024

Received January 29, 2024

Revised February 21, 2024

Accepted February 29, 2024



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Явурик Ольга Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Петина Мария Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Явурик Владимир Владимирович, студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий кандидат технических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Yavurik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Maria A. Petina, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Vladimir V. Yavurik, Student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia