

Научная статья

УДК 622-1/9

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-69-77

Черных Владимир Геннадьевич, Отроков Александр Васильевич,
Гринько Дмитрий Александрович, Гринько Антон Александрович*,
Миронова Алина Олеговна, Богатырев Александр Русланович

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

* для корреспонденции: drdt.npi@yandex.ru

РАЗРАБОТКА БЛОК СХЕМЫ ПРОЦЕССОВ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТОиР ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГОРНОДОБЫВАЮЩИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ



Информация о статье

Поступила:

15 января 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

05 мая 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

Система ТОиР, горнодобывающее предприятие, риск-ориентированный подход, методы оценки, производственные риски

Аннотация.

В данной статье рассматриваются ключевые аспекты разработки блок-схем процессов для риск-ориентированных систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Основное внимание уделено исследованию методологии создания таких схем, которые учитывают различные виды рисков, связанные с эксплуатацией оборудования и его обслуживанием. В работе представлены результаты анализа существующих подходов к управлению рисками в системах ТОиР, а также предложены рекомендации по оптимизации процессов на основе выявленных рисков. Авторы предлагают структурированный подход к разработке блок-схем, который включает определение критических точек контроля, выбор оптимальных методов мониторинга состояния оборудования и разработку планов корректирующих действий при возникновении отклонений от нормы. Рассматриваются примеры применения предложенной методики на реальных объектах горнодобывающей промышленности, что позволяет оценить ее эффективность и практическую значимость. Описаны основные этапы создания такой схемы, начиная с анализа существующих процессов и выявления ключевых рисков, связанных с эксплуатацией оборудования. Особое внимание уделено методам идентификации и оценки рисков, а также их влиянию на надежность и безопасность производственных систем. Описаны принципы построения блок-схем, позволяющие интегрировать методы управления рисками в повседневную деятельность предприятий. Уделяется практическим аспектам применения разработанных решений в реальных условиях эксплуатации промышленного оборудования.

Для цитирования: Черных В.Г., Отроков А.В., Гринько Д.А., Гринько А.А., Миронова А.О., Богатырев А.Р. Разработка блок-схемы процессов риск-ориентированной системы ТОиР применительно к горнодобывающим предприятиям // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2 (178). С. 69-77. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-69-77, EDN: WVVSFB

Введение.

Актуальность темы статьи заключается в следующем:

Современные производственные и инфраструктурные объекты становятся всё более сложными и критичными для функционирования общества и экономики. Эффективное управление техническими объектами требует внедрения современных подходов к техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР). Одним из таких подходов является риск-

ориентированный подход, который позволяет минимизировать вероятность возникновения неисправностей и аварий, а также оптимизировать расходы на обслуживание и ремонт. Анализ отечественной и международной практики в области управления охраной труда, промышленной безопасностью указывает на высокую актуальность данных вопросов в контексте горнодобывающей промышленности как в зарубежных источниках, так и в отечественных [1-6].

Однако, несмотря на широкое признание важности риск-ориентированного подхода, на практике возникают сложности с его реализацией. Одной из причин этого является недостаток систематизированных знаний о процессах, входящих в состав риск-ориентированной системы ТОиР, а также отсутствия чёткого понимания того, кто отвечает за выполнение тех или иных операций, какие методики и стандарты применяются в каждом конкретном случае.

Целью настоящей статьи является исследование и разработка блок-схемы процессов риск-ориентированной системы ТОиР, включая детальное описание входов и выходов каждого процесса, составляющих их операций, ответственности и применяемых в процессе процедур методик и стандартов. Полученные результаты позволят повысить эффективность управления техническими объектами, снизить риски возникновения неисправностей и аварий, а также оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Существует несколько основных методов и подходов к организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР), каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения. В своей работе [5] раздел 2 авторы описывают типы обслуживания оборудования:

Эксплуатация до отказа (реактивное обслуживание) (RTF – Run to Failure)

Реактивное обслуживание предполагает проведение ремонтных работ после возникновения неисправности или отказа оборудования. Этот подход прост в реализации, но он сопряжён с высокими рисками простоя оборудования и большими непредвиденными расходами на устранение последствий поломок. Главное для такого вида обслуживания – насколько быстро машина или система могут быть возвращены в эксплуатацию. Пока машина будет функционировать на минимально приемлемом уровне, техническое обслуживание считается эффективным.

Плановое профилактическое обслуживание (TBM - Time-Based Maintenance)

Плановое профилактическое обслуживание основано на проведении регулярной оценки критического оборудования, машин или систем для обнаружения потенциальных проблем и немедленного планирования задач по обслуживанию, которые предотвратят любое ухудшение рабочего состояния. На большинстве предприятий этот вид обслуживания ограничивается периодической смазкой, регулировками и другими задачами по обслуживанию, зависящих от наработки, при этом не предполагает систематическую комплексную оценку технического состояния. Фактически, большинство предприятий применяют реактивное обслуживание.

Обслуживание по состоянию (CBM - Condition-Based Maintenance)

Обслуживание по состоянию подразумевает регулярный мониторинг параметров работы оборудования и проведение ремонтных работ только тогда, когда состояние оборудования начинает ухудшаться, в отличие от профилактического обслуживания,

которое подразумевает предотвращение возникновения проблемы.

Основная цель – устранить поломки, отклонения от оптимального режима эксплуатации и ненужный ремонт, а также оптимизировать эффективность всех критически важных систем установки.

Этот подход позволяет сократить количество ненужных вмешательств и оптимизировать затраты на обслуживание, но требует наличия соответствующего уровня квалификации ремонтного персонала и средств диагностики и мониторинга.

В своей работе авторы дают пояснения: «Комплексная программа профилактического обслуживания [6], позволяющая точно определять первопричину всех возникающих проблем, является первым требованием корректирующего обслуживания. Без этой возможности невозможно спланировать корректирующие действия».

Фактически далее по тексту в разделе 3 они описывают Риск-ориентированное обслуживание. Такой подход был сформулирован и утверждён в стандартах серии ISO 31000:2018 – Менеджмент риска. В России на основе этого стандарта сформирован и выпущен ГОСТ Р ИСО 31000-2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство.

Риск-ориентированное обслуживание (RBM - Risk-Based Maintenance)

Риск-ориентированное обслуживание фокусируется на оценке и управлении рисками, связанными с работой оборудования. При этом приоритет отдаётся тем компонентам и системам, которые представляют наибольшую угрозу для безопасности и непрерывности производственного процесса. RBM позволяет оптимизировать распределение ресурсов и минимизировать потенциальные убытки.

Надёжно-центрированное обслуживание (RCM - Reliability-Centered Maintenance)

Надёжно-центрированное обслуживание направлено на обеспечение максимальной надёжности оборудования путём анализа режимов его работы, выявления слабых мест и разработки стратегии обслуживания, ориентированной на предотвращение отказов. RCM требует глубокого понимания принципов работы оборудования и его критичности для производственного процесса.

В соответствии с ГОСТ Р 27.606-2013 «Надёжность в технике. Управление надёжностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность» целями RCM являются [6]:

- 1) поддержание функционирования изделия с требуемыми показателями надёжности в заданных условиях эксплуатации;
- 2) получение информации, необходимой для совершенствования конструкции изделия или введения дополнительного резервирования тех его составных частей, выявленный уровень безотказности которых оказался недостаточным;
- 3) достижение указанных целей при минимальной суммарной стоимости жизненного цикла, включающей в себя затраты на ТО и ущерб от остаточных неисправностей;

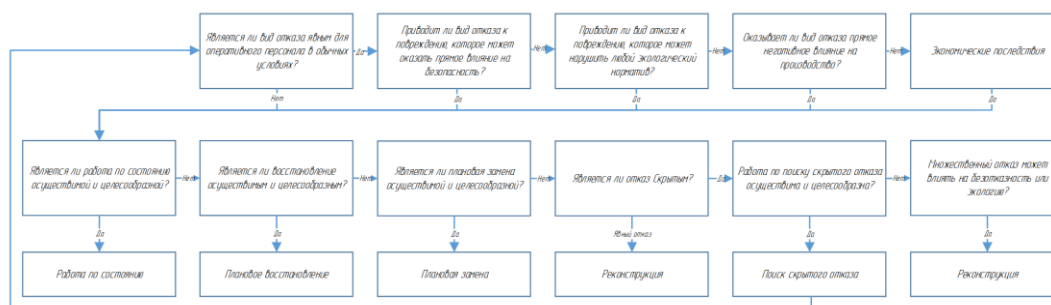


Рис. 1. Диаграмма принятия решения по методике RCM
Fig. 1. RCM decision-making diagram

4) получение информации, необходимой для пересмотра и совершенствования текущей программы ТО по сравнению с первоначально установленной посредством оценки эффективности достижения ранее установленных задач ТО. Важную роль в доработках программы играет мониторинг технического состояния критичных с точки зрения безопасности или дорогостоящих составных частей [6].

Примечания:

1. Первоисточник диаграммы [7];

2. Действие «Реконструкция» подразумевает разработку нового конструкторского решения исполнения оборудования или узла оборудования с целью обеспечения возможности обнаружения отказа или предотвращения множественного отказа при дальнейшей эксплуатации оборудования.

В этой работе приводится четкий порядок истории возникновения и развития RCM [7]. Автор [8] приводит примеры с различных типов производства (особенно автомобилестроение, сталелитейную, бумажную, нефтехимическую, фармацевтическую и пищевую промышленность), коммунальные услуги (вода, газ и электричество), вооруженные силы, строительные услуги, горнодобывающую промышленность, телекоммуникации и транспорт. Эта книга обобщает опыт в формате практического описания того, что такое RCM и как его следует применять. В том числе представлен материал по анализу функций и отказов, управлению рисками, поиску отказов и измерению эффективности обслуживания, что является частью Риск-ориентированной системы управления активами.

Методы.

Основные понятия и определения

Риск: Вероятность наступления нежелательных событий, связанных с отказом оборудования или нарушением его нормальной работы, и последствия таких событий [19].

Система технического обслуживания и ремонта (ТОиР): Совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления (качества либо эксплуатационных характеристик) объектов, входящих в эту систему [20].

Риск-ориентированный подход: Методология управления, при которой принятие решений и выбор мероприятий и средств управления основаны

на выявлении, анализе и прогнозировании опасностей и оценке степени риска [21].

Принципы риск-ориентированного подхода

Оценка рисков: Регулярная идентификация потенциальных угроз и оценка их вероятностей и последствий.

Приоритизация: Установление приоритетов для устранения выявленных рисков на основании их значимости.

Контроль и мониторинг: Постоянный мониторинг состояния оборудования и своевременное реагирование на изменения, способные повлиять на уровень риска.

Оптимизация ресурсов: Рациональное распределение ресурсов на основе приоритета рисков, чтобы максимизировать эффективность и минимизировать затраты.

Непрерывное улучшение: Постоянное обновление и адаптация системы ТОиР на основе накопленного опыта и изменяющихся условий эксплуатации.

Преимущества и ограничения риск-ориентированных систем ТОиР

Преимущества:

Уменьшение числа незапланированных простоев: Благодаря раннему обнаружению и устранению потенциальных проблем снижается частота неожиданных отказов оборудования.

Снижение затрат на обслуживание: Оптимизация распределения ресурсов позволяет избежать излишних расходов на ненужные проверки и ремонты.

Повышение безопасности: Сосредоточенность на управлении рисками способствует уменьшению вероятности аварий и инцидентов, угрожающих жизни людей и окружающей среде.

Увеличение срока службы оборудования: более эффективное обслуживание продлевает срок службы.

Ограничения:

Требует квалифицированного персонала: для успешного внедрения и поддержания риск-ориентированной системы необходимы специалисты с соответствующими знаниями и навыками. [9-12]

Высокие начальные затраты: Внедрение системы может потребовать значительных первоначальных инвестиций в оборудование для мониторинга и программное обеспечение. [17-18]



Рис. 2. Блок-схема процессов риск-ориентированной системы ТОиР
Fig. 2. Flowchart of the processes of a risk-based MRO system

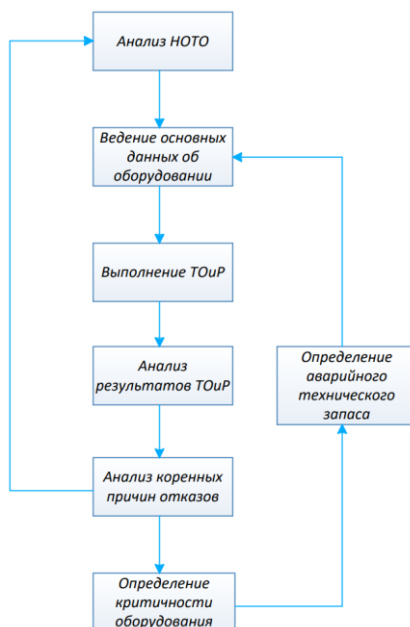


Рис. 3. Блок-схема процессов риск-ориентированной системы технического обслуживания и ремонтов
Fig. 3. Flowchart of the processes of a risk-based maintenance and repair system

Необходимость постоянного обновления данных: Изменения в условиях эксплуатации и технологиях требуют регулярного пересмотра и корректировки системы.

Трудоемкость анализа данных: Сбор, обработка и интерпретация большого объема данных могут представлять сложность, особенно на начальном этапе внедрения системы [13-16].

На рис. 2 представлена блок-схема процессов риск-ориентированной системы ТОиР. Эти связи обеспечивают последовательное и непрерывное функционирование системы ТОиР, позволяя ей адаптироваться к меняющимся условиям и улучшать свою эффективность.

3. Детальное описание процессов
 - 3.1. Идентификация и оценка рисков
 - Операции идентификации рисков
 - Методы оценки рисков
 - Ответственность за выполнение операций
 - Применяемые процедуры и методики
 - 3.2. Планирование и организация ТОиР
 - Операции планирования
 - Разработка планов ТОиР
 - Координация и контроль исполнения планов
 - Ответственность за выполнение операций
 - Применяемые процедуры и методики
 - 3.3. Выполнение ТОиР

Операции выполнения ТОиР
Контроль качества выполнения работ
Документооборот и учет выполненных работ

- 3.4. Мониторинг и анализ результатов
 - Операции мониторинга
 - Анализ эффективности проведенных работ
 - Корректирующие мероприятия
 - Ответственность за выполнение операций
 - Применяемые процедуры и методики

Представлена организационная структура, отражающая процессную блок-схему с применением существующих методик риск-ориентированного подхода к горнодобывающему предприятию рис. 3. Далее рассмотрены отдельные элементы в рамках их реализации.

4.1 Определение критичности оборудования

Типы последствий отказов описывают, как именно отказ влияет на различные аспекты производственной деятельности. Они могут быть разделены на несколько категорий рис. 4.

4.2 Анализ коренных причин отказа (расследование) (RCA)

Анализ коренных причин отказа (Root Cause Analysis, RCA) — это методология, используемая для выявления и устранения первопричин проблем

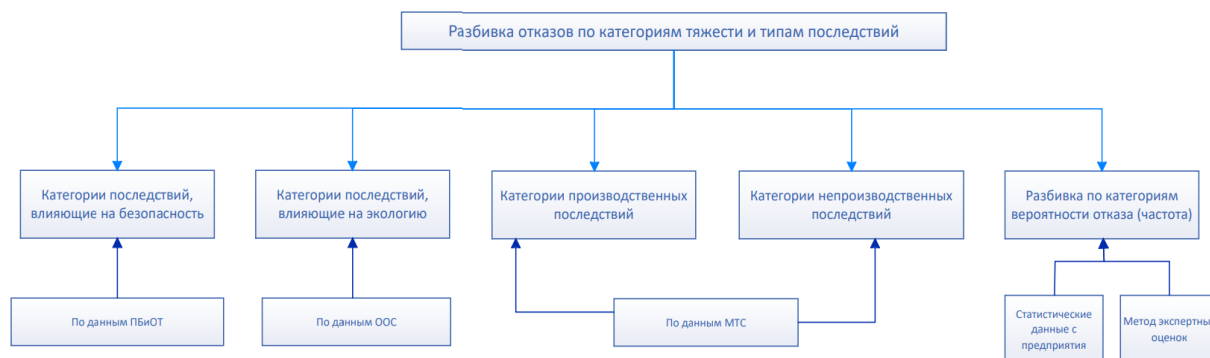


Рис. 4. Определение критичности оборудования
Fig. 4. Determination of the equipment criticality



Рис. 5. Блок-схема анализа коренных причин отказа
Fig. 5. Block diagram of the analysis of the root causes of failure

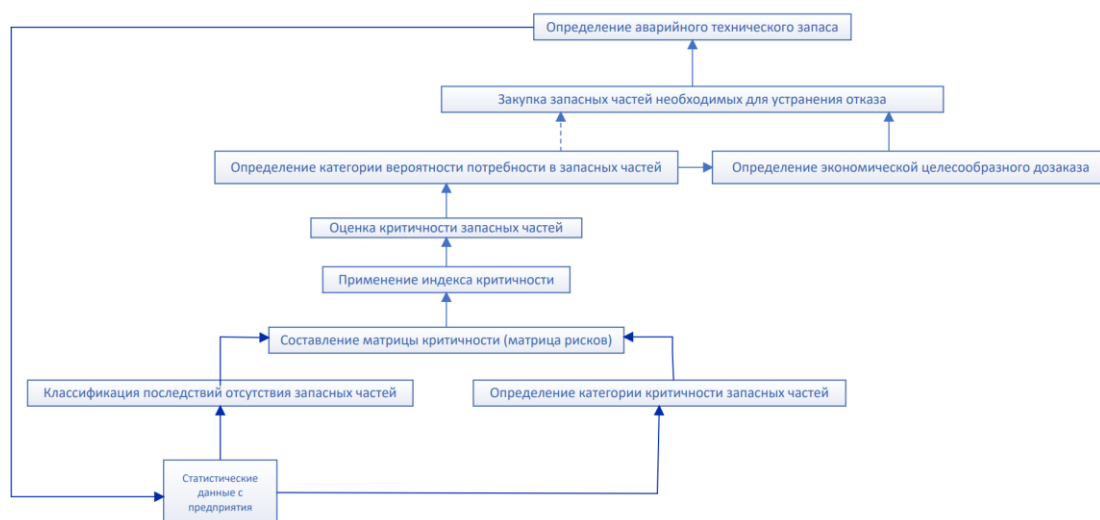


Рис. 6. Блок-схема определение аварийного технического запаса (RCS)
Fig. 6. Block diagram of the definition of emergency technical reserve (RCS)

или отказов в системах, процессах или оборудовании. Основная цель RCA — предотвратить повторение аналогичных инцидентов в будущем путём устранения корневых причин, а не только симптомов рис. 5.

4.3. Определение аварийного технического запаса (RCS)

Аварийный технический запас (Reserve Capacity System, RCS) — это система, предназначенная для поддержания работоспособности и стабильности функционирования оборудования или инфраструктуры в случае непредвиденных обстоятельств, таких как отказы, аварии или форс-мажорные ситуации. Основная цель RCS — обеспечение достаточ-

ного резерва мощности, ресурсов или компонентов, чтобы компенсировать временные сбои и предотвратить полную остановку работы системы рис. 6.

Выводы.

В работе систематизировали принципы изложенные в гостах о процессах, входящих в состав риск-ориентированной системы ТОиР, определили ответственные стороны за выполнение процесса сбора, систематизации и актуализации информации о производственных активах горнодобывающего предприятия, а также какие методики и стандарты применяются в каждом конкретном случае.

Развитие риск-ориентированных систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР) в горной отрасли представляет собой важную тенденцию в области управления промышленными активами. Перспективы развития риск-ориентированных систем ТОиР обещают значительное улучшение в различных областях работы предприятия: снижение риска происшествий, повышение эффективности использования оборудования, Улучшение производственного процесса. Новые технологии, такие как искусственный интеллект, большие данные и цифровая трансформация, открывают широкие возможности для повышения точности прогнозирования, автоматизации процессов и улучшения общей эффективности обслуживания.

Будущее риск-ориентированных систем ТОиР связано с повышением гибкости и адаптивности. Современные системы должны уметь автоматически настраиваться под изменяющиеся условия эксплуатации, учитывающие сезонные особенности, изменение нагрузки и другие переменные факторы. Это позволит ещё точнее прогнозировать потребности в обслуживании и минимизировать риски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагина С.С., Кадникова О.В., Рольгайзер А.А. Управление охраной труда и промышленной безопасностью на угледобывающих предприятиях Кузбасса // Экономика труда. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 541—554.
2. Nikulin A., Nikulina A.Y. 2017. Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company. Ecology, Environment and Conservation, 23(1), pp. 351—355.
3. Sabrina Letícia Couto da Silva. Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature/Sabrina Letícia Couto da Silva, Fernando Gonçalves Amaral. Safety Science, 2019, volume 117, pp. 123—132.
4. Shalimova A.V., Filin A.E., Davydenko A.A. Analysis of evaluation results of occupational health, industrial and environmental safety management systems at enterprises of mining and smelting complex. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019, 2020, 1, pp. 100—105. <https://doi.org/10.1201/9781003014577>.
5. Р. Кит Мобли, Линдли Р. Хиггинс, Дэрин Дж. Викофф «Техническое обслуживание. Инженерия. Справочник», 1244 стр., 2008 DOI: 10.1036/0071546464.
6. ГОСТ Р 27.606-2013 «Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность»
7. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press, 1978 466 p.
8. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition. NY: Industrial Press Inc, 1997 426 p.
9. Badri A. The challenge of integrating OHS into industrial project risk management: Proposal of a methodological approach to guide future research (case of mining projects in Quebec, Canada)/ Minerals, Volume 5, Issue 2, 1 June 2015, pp. 312—334.
10. Domínguez N., Rodríguez J., Jara J., Raymundo C. Occupational health and safety maturity model to manage the surface mining operations WMSCI 2019 — 23rd World MultiConference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando; United States 6—9 July. Proceedings Volume 4, 2019, pp. 17—21.
11. Pence J., Sakurahara T., Zhu X., Mohaghegh Z., Ertem M., Ostroff C., Kee E. Datatheoretic methodology and computational platform to quantify organizational factors in socio-technical risk analysis. Reliability Engineering and System Safety, Volume 185, May 2019, pp. 240—261
12. Каледина Н.О. Инженерная подготовка горноспасателей. Горный журнал, 2018. № 6. С. 85—88
13. Тимофеева С.С. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда // Охрана труда и промышленная безопасность. — 2016. — № 1. — С. 14—20
14. Хрупачёв А.Г., Хадарцев А.А., Каменев Л.И., Панова И.В., Седова О.А. Методологическая концепция профессионального риска и его количественная оценка //Националь
15. Минько В.М. Математическое моделирование в управлении охраной труда. —Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. — 182-184 с.
16. Разработка «Методики расчета индивидуального профессионального риска в зависимости от условий труда и состояния здоровья работника» и «Методики расчета интегрального показателя уровня профессионального риска в организации». Режим доступа: <https://www.kiout.ru/info/publish/216> (дата обращения 17.10.2020).
17. Федосова М.Н., Корнев А.М. Оценка рисков типового инвестиционного проекта с использованием метода имитационного моделирования Монте-Карло // Экономика и социум. 2014. №2-4 (11). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riskov-tipovogo-investitsionnogo-proekta-s-ispolzovaniem-metoda-imitatsionnogo-modelirovaniya-monte-karlo> (дата обращения: 12.11.2024).
18. Богданов, А. И. Математические модели принятия инвестиционных решений в условиях риска / А. И. Богданов, Л. Н. Никитина, Ф. В. Ильин ; Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государ-

ственный университет промышленных технологий и дизайна, 2018. – 105 с.

19. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство;

20. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

21. ГОСТ 12.0.230.4-2018 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различных этапах выполнения работ

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Черных Владимир Геннадьевич, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-4626-6050>, v9287505544@yandex.ru

Отроков Александр Васильевич, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-8808>, oav-71@mail.ru

Гринько Дмитрий Александрович, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-6506>, dingo17@mail.ru

Гринько Антон Александрович, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), кандидат технических наук, <https://orcid.org/0000-0003-3266-8526>, nextdingo@mail.ru

Миронова Алина Олеговна, ассистент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), <https://orcid.org/0009-0006-0708-048X>, miroнова.ao@yandex.ru

Богатырев Александр Русланович, старший преподаватель, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5077-1440>, gvafiz@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Черных Владимир Геннадьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Отроков Александр Васильевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Гринько Дмитрий Александрович - постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Гринько Антон Александрович - постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Миронова Алина Олеговна - сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы.

Богатырев Александр Русланович - сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-69-77

Vladimir G. Chernyh, Alexander V. Otrkov, Dmitry A. Grinko, Anton A. Grinko*, Alina O. Mironova, Alexander R. Bogatyrev

Platov South-Russian State Polytechnic University

* for correspondence: drdt.npi@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A FLOWCHART OF THE PROCESSES OF A RISK-BASED MRO SYSTEM APPLIED TO MINING ENTERPRISES



Article info

Received:

15 January 2025

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

05 May 2025

Published:

05 June 2025

Keywords: MRO system, mining enterprises, risk-based approach, assessment methods, production risks

Abstract.

This article discusses the key aspects of developing process flowcharts for risk-based maintenance and repair (MRO) systems. The main attention is paid to the study of the methodology for creating such schemes that take into account various types of risks associated with the operation of equipment and its maintenance. The paper presents the results of an analysis of existing approaches to risk management in MRO systems, as well as recommendations for optimizing processes based on identified risks. The authors propose a structured approach to the development of flowcharts, which includes the identification of critical control points, the choice of optimal methods for monitoring the condition of equipment and the development of corrective action plans in case of deviations from the norm. Examples of the application of the proposed methodology in real mining facilities are considered, which makes it possible to assess its effectiveness and practical significance. The main stages of creating such a scheme are described, starting with the analysis of existing processes and the identification of key risks associated with the operation of equipment. Special attention is paid to the methods of risk identification and assessment, as well as their impact on the reliability and safety of production systems. The principles of building flowcharts are described, which make it possible to integrate risk management methods into the daily activities of enterprises. Attention is paid to the practical aspects of applying the developed solutions in real-world operating conditions of industrial equipment.

For citation: Chernyh V.G., Otrokov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Development of a flowchart of the processes of a risk-based MRO system applied to mining enterprises. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 2(178):69-77 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-69-77, EDN: WVVSFB

REFERENCES

1. Smagina S.S., Kadnikova O.V., Rolgizer A.A. Occupational safety and industrial safety management at Kuzbass coal mining enterprises // Labor economics. — 2018. — Vol. 5. — No. 2. — pp. 541-554.
2. Nikulin A., Nikulina A.Y. 2017. Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company. Ecology, Environment and Conservation, 23(1), pp. 351—355.
3. Sabrina Letícia Couto da Silva. Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature/Sabrina Letícia Couto da Silva, Fernando Gonçalves Amarala. Safety Science. 2019, volume 117, pp. 123—132.
4. Shalimova A.V., Filin A.E., Davydenko A.A. Analysis of evaluation results of occupational health, industrial and environmental safety management systems at enterprises of mining and smelting complex. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019, 2020, 1, pp. 100-105.
<https://doi.org/10.1201/9781003014577>
5. R. Keith Mobley, Lindley R. Higgins, Darrin J. Wyckoff "Maintenance. Engineering. Handbook", 1244 pages, 2008 DOI: 10.1036/0071546464.
6. GOST R 27.606-2013 "Reliability in engineering. Reliability management. Reliability-oriented maintenance"
7. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press, 1978 466 p.
8. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition. NY: Industrial Press Inc, 1997 426 p.
9. Badri A. The challenge of integrating OHS into industrial project risk management: Proposal of a methodological approach to guide future research (case of mining projects in Quebec, Canada)/ Minerals, Volume 5, Issue 2, 1 June 2015, pp. 312—334.
10. Domínguez N., Rodríguez J., Jara J., Raymundo C. Occupational health and safety maturity model to manage the surface mining operations WMSCI 2019 — 23rd World MultiConference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando; United States 6—9 July. Proceedings Volume 4, 2019, pp. 17—21.
11. Pence J., Sakurahara T., Zhu X., Mohaghegh Z., Ertem M., Ostroff C., Kee E. Datatheoretic methodology and computational platform to quantify organizational factors in socio-technical risk analysis. Reliability Engineering and System Safety, Volume 185, May 2019, pp. 240—261
12. Kaledina N.O. Engineering training of mountain rescuers. Mining Journal, 2018. No. 6. pp. 85-88
13. Timofeeva S.S. Modern methods of occupational risk assessment and their importance in the occupational safety management system // Occupational safety and industrial safety. - 2016. — No. 1. — pp. 14-20
14. Frabachev A.G., Khadartsev A.A., Kamenev L.I., Panova I.V., Sedova O.A. Methodological concept of occupational risk and its quantitative assessment //National
15. Minko V.M. Mathematical modeling in labor protection management. Kaliningrad: FGUIPP "Yantarny skaz", 2002. 182-184 p.

16. Development of the "Methodology for calculating individual occupational risk depending on the working conditions and health status of the employee" and "Methodology for calculating the integral indicator of the level of occupational risk in the organization." Access mode: <https://www.kiout.ru/info/publish/216> (accessed 17.10.2020).

17. Fedosova M.N., Kornev A.M. Risk assessment of a typical investment project using the Monte Carlo simulation method // Economics and society. 2014. No.2-4 (11). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riskov-tipovogo-investitsionnogo-proekta-s-ispolzovaniem-metoda-imitatsionnogo-modelirovaniya-monte-karlo> (date of request: 12.11.2024).

18. Bogdanov, A. I. Mathematical models of investment decision-making in risk conditions / A. I. Bogdanov, L. N. Nikitina, F. V. Ilyin ; St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Saint Petersburg : Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2018. 105 p.

19. GOST R ISO 31000-2019 Risk management. Principles and guidelines;

20. GOST 18322-2016 System of technical maintenance and repair of machinery. Terms and definitions.

21. GOST 12.0.230.4-2018 Occupational Safety Standards System. Occupational health and safety management systems. Methods of hazard identification at various stages of work.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Vladimir G. Chernyh, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4626-6050>, v9287505544@yandex.ru

Alexander V. Otrokov, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-8808>, oav-71@mail.ru

Dmitry A. Grinko, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-6506>, dingo17@mail.ru

Anton A. Grinko, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3266-8526>, nextdingo@mail.ru

Alina O. Mironova, assistant, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0708-048X>, mironova.ao@yandex.ru

Alexander R. Bogatyrev, Senior lecturer, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346428, Russia, Novocherkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5077-1440>, gvaflz@yandex.ru

Contribution of the authors:

Vladimir G. Chernyh – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing a text.

Alexander V. Otrokov - setting a research task, scientific management.

Dmitry A. Grinko - setting a research task, scientific management.

Anton A. Grinko - formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing a text.

Alina O. Mironova - data collection and analysis, review of relevant literature.

Alexander R. Bogatyrev - data collection and analysis, review of relevant literature.

Authors have read and approved the final manuscript.

