

Научная статья

УДК 622-1/9

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68

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: mironova.ao@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ИДЕНТИФИКАЦИИ РИСКОВ ОТКАЗОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ КРИТИЧНОСТИ ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Аннотация.

Горнодобывающие предприятия стремятся к максимальной эффективности и безопасности. Карьерные самосвалы (КС), являясь ключевым звеном, играют критическую роль в обеспечении бесперебойной работы предприятия. Применение риск-ориентированного подхода к ТОиР позволяет минимизировать негативные последствия за счет своевременного выявления и устранения потенциальных проблем, что обуславливает актуальность разработки методических подходов к идентификации и оценке критичности рисков отказов КС.

Данная работа посвящена разработке методических подходов к идентификации, классификации и оценке критичности рисков отказов КС с целью оптимизации стратегии ТОиР и повышения эффективности эксплуатации. В статье рассматриваются различные аспекты, связанные с надежностью и безопасностью работы КС, и предлагаются практические решения для повышения их эксплуатационной готовности.

В рамках исследования проведен анализ существующих методов оценки рисков отказов технических систем. С учетом специфики эксплуатации КС в условиях горнодобывающих предприятий выбран наиболее подходящий подход. Проведен анализ существующих стандартов, описывающих рекомендации обеспечения надежности оборудования и управления рисками. На основе стандартов разработаны методические подходы к идентификации рисков отказов и предложена многокритериальная система классификации рисков по уровням критичности с учетом вероятности возникновения отказа, потенциальных последствий для производственного процесса, безопасности персонала и окружающей среды. На основе разработанной классификации рисков сформулированы рекомендации по оптимизации плана ТОиР КС, включая определение оптимальной периодичности проведения профилактических работ.

Разработанный подход позволяет ранжировать риски отказов КС по критичности и формировать обоснованные решения по приоритетности ТОиР, распределению ресурсов и оптимизации затрат. Применение методики способствует повышению эффективности ТОиР, снижению простоев, минимизации финансовых потерь и повышению безопасности эксплуатации КС.



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:

риск-ориентированный подход; управление рисками; идентификация рисков; оценка вероятности отказов; оценка последствий отказов; критичность отказов; карьерные самосвалы

Для цитирования: Черных В.Г., Отроков А.В., Гринько Д.А., Гринько А.А., Миронова А.О., Богатырев А.Р. Разработка методических подходов к идентификации рисков неисправностей и отказов и определения их критичности для карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2 (178). С. 59-68. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68, EDN: VTFNIK

Введение

В условиях современной экономики горнодобывающие предприятия сталкиваются с необходимостью постоянного повышения эффективности и обеспечения безопасности производственных процессов, а также сталкиваются с такими вызовами как:

– Высокая стоимость простоев: Простои КС, вызванные отказами, приводят к значительным финансовым потерям для горнодобывающих предприятий. Эти потери складываются из недополученной прибыли, затрат на ремонт и восстановление, а также нарушения логистических цепочек. Минимизация простоев является критически важной задачей для обеспечения экономической эффективности предприятий.

– Сложность технических систем: Современные КС представляют собой сложные технические системы, состоящие из множества взаимосвязанных компонентов. Отказ любого из этих компонентов может привести к отказу всей системы и, как следствие, к простоям. Сложность системы затрудняет выявление потенциальных проблем и эффективное планирование ТОиР.

– Ограниченность ресурсов: Ресурсы, выделяемые на ТОиР, всегда ограничены. Необходимо разработать методы, позволяющие оптимально распределять ресурсы и приоритезировать мероприятия по ТОиР для достижения максимального эффекта при минимальных затратах.

– Требования безопасности: Эксплуатация КС связана с потенциальными рисками для безопасности персонала и окружающей среды. Необходимо разработать методы, позволяющие идентифицировать и минимизировать эти риски.

– Необходимость проактивного подхода: Традиционные подходы к ТОиР, основанные на регламентных работах, не всегда эффективны и могут приводить к избыточным затратам. Необходимо переход к проактивному, риск-ориентированному подходу, позволяющему прогнозировать и предотвращать отказы.

Основываясь на научный результат работ авторов [19-24] была сформулирована научная проблема заключается в необходимости разработки методических подходов к идентификации, классификации и оценки критичности рисков отказов карьерных самосвалов, позволяющей оптимизировать стратегию ТОиР, минимизировать простои, повысить безопасность эксплуатации и снизить затраты. Решение этой проблемы требует разработки новых методов и моделей, учитывающих специфику эксплуатации КС и позволяющих эффективно управлять рисками отказов. Риск-ориентированный подход к техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) позволяет минимизировать негативные последствия отказов за счет своевременного выявления потенциальных проблем и принятия превентивных мер. Данный подход предполагает систематическую идентификацию, классификацию и оценку критичности рисков отказов с последующей разработкой оптимальной стратегии ТОиР.

В настоящей работе представлена методика идентификации и оценки критичности рисков отказов карьерных самосвалов с целью оптимизации планирования ТОиР и повышения эффективности эксплуатации. В рамках исследования проведен анализ существующих методов оценки рисков отказов технических систем, а также рекомендаций, изложенных в соответствующих стандартах по надежности оборудования и управлению рисками. На основе проведенного анализа разработан методический подход к идентификации рисков отказов КС с учетом специфики их эксплуатации в условиях горнодобывающих предприятий. Предложена многокритериальная система классификации рисков по уровням критичности, учитывающая вероятность возникновения отказа, потенциальные последствия для производственного процесса, безопасности персонала и окружающей среды. На основе разработанной классификации сформулированы рекомендации по оптимизации плана ТОиР КС, включая определение оптимальной периодичности проведения профилактических работ.

Применение предложенной методика позволяет повысить эффективность ТОиР, снизить вероятность простоев, минимизировать финансовые потери и обеспечить безопасную эксплуатацию карьерных самосвалов.

Настоящие методические подходы разработаны с учетом стандартов [1-12], а также адаптированных принципов, изложенных в [13-14].

Методология оценки рисков основана на оценке вероятности отказа оборудования и соответствующих последствий. В научных трудах [15] была разработана процедура ранжирования рисков при проверке, которая используется на одном из химических заводов и позволяет определить приоритетность ремонта, выявленного при проверке оборудования.

1. Анализ существующих методов оценки рисков отказов технических систем

Для идентификации и оценки критичности рисков отказов карьерных самосвалов наиболее подходящими являются следующие методы, которые можно комбинировать для достижения наилучшего результата:

– FMEA (Анализ видов и последствий отказов) [16]: FMEA хорошо подходит для анализа отдельных компонентов и систем карьерного самосвала (двигатель, трансмиссия, тормозная система и т.д.). Разработан в конце 1940-х годов в Военно-морских силах США для оценки рисков отказов сложных систем вооружения. Официально документирован в 1960-х годах в рамках военных стандартов MIL-P-1629. В дальнейшем метод был адаптирован для использования в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, аэрокосмическую и другие. Позволяет выявить потенциальные виды отказов, оценить их последствия для работы самосвала, а также определить приоритетные направления для улучшения надежности. Несмотря на некоторую субъективность, FMEA достаточно прост в применении и не требует сложных расчетов. Он особенно полезен на начальных

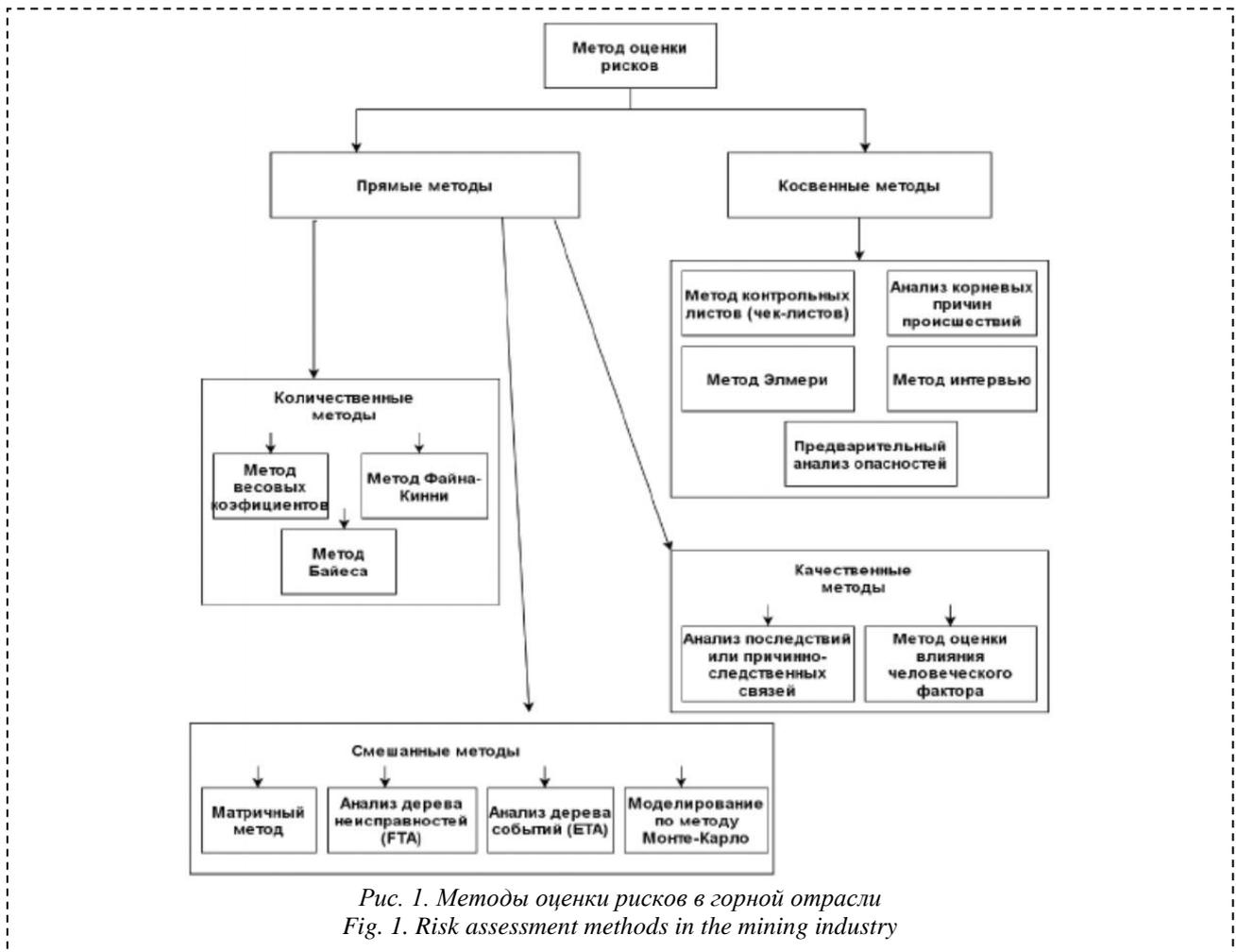


Рис. 1. Методы оценки рисков в горной отрасли
 Fig. 1. Risk assessment methods in the mining industry

этапах анализа, когда необходимо выявить наиболее критичные компоненты и системы.

– FTA (Анализ дерева отказов): FTA позволяет проанализировать взаимосвязи между отказами отдельных компонентов и их влияние на работоспособность самосвала в целом. Разработан в 1961 году компанией Bell Telephone Laboratories для оценки надежности системы управления запуском межконтинентальных баллистических ракет Minuteman. Метод был далее развит и популяризирован в рамках аэрокосмических программ. Этот метод полезен для оценки вероятности возникновения сложных отказов, обусловленных сочетанием нескольких более простых отказов. FTA может быть использован в сочетании с FMEA для более глубокого анализа причин и последствий отказов.

– ETA (Анализ дерева событий) [18]: ETA позволяет проанализировать последствия инициирующих событий, таких как отказ критичного компонента. Разработан в конце 1960-х - начале 1970-х годов в рамках исследований безопасности атомных электростанций. Одним из ключевых разработчиков считается WASH-1400 (The Reactor Safety Study), опубликованный Комиссией по ядерному регулированию США (NRC) в 1975 году. Этот метод полезен для оценки вероятности различных сценариев развития событий после возникновения отказа и определения наиболее опасных сценариев. ETA может быть использован для оценки эффек-

тивности мер по снижению рисков и предотвращению аварийных ситуаций.

Выбор количественных методов, таких как Марковский анализ, методы Монте-Карло или Байесовские сети, для анализа рисков отказов карьерных самосвалов может быть оправдан в случае наличия достаточного объема статистических данных об отказах и их последствиях. Однако, сбор и обработка таких данных могут быть сложной и ресурсоемкой задачей. Вместе с тем, для обеспечения необходимого уровня организации представленных в статье методических подходов эти методы рекомендуется использовать как комбинацию качественных и количественных методов, например, FMEA в сочетании с элементами вероятностного анализа.

В своей работе [17] авторы приводят схематичное изображение (рис. 1) основных методов прогнозирования рисков, соответствующих ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска», с указанием к ним рекомендаций применения на том или ином этапе управления рисками и в зависимости от типа анализа.

2. Этапы методики

Определение объектов анализа

На данном этапе проводится выделение объектов анализа и создание структурированной модели КС с выделением ключевых компонентов, например:

- Силовая установка: двигатель, трансмиссия.
 - Ходовая часть: подвеска, рама, колеса.
 - Гидравлические системы: подъем кузова, тормозные системы.
 - Электрооборудование и системы управления: датчики, контроллеры, кабели.
 - Кузов и конструкция: несущие элементы.
- Обоснование выбора ключевых компонентов карьерного самосвала можно провести по нескольким критериям:
- Критерий функциональной значимости: влияние на основную производственную функцию, обеспечение работоспособности всей машины, критичность для безопасности операций.
 - Критерий экономической эффективности: стоимость компонента, частота выхода из строя, затраты на ремонт и восстановление.
 - Технический критерий: сложность конструкции, уровень нагрузок, условия эксплуатации.
 - Статистический критерий: анализ статистики отказов, данные о надежности компонентов, результаты диагностики парка техники.
 - Экспертный критерий: оценка специалистов, опыт эксплуатации, мнение производителей.

Идентификация рисков

Процесс идентификации рисков включает:

Сбор данных:

- Анализ эксплуатационной документации.
- Изучение статистики отказов (наработка на отказ, частота отказов).
- Экспертное интервьюирование специалистов по ТОиР.

Применение аналитических методов:

- Метод FMEDA (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis) — анализ видов отказов, их последствий и критичности.
- Метод HAZOP (Hazard and Operability Study) — выявление опасностей и операционных рисков.

Оценка вероятности отказов

Оценка вероятности отказов может быть выполнена на основе:

- Статистики отказов: данные о частоте отказов компонентов за определенный период.
- Диагностических данных: результаты мониторинга состояния карьерных самосвалов.
- Моделирования отказов: прогнозирование вероятности с учетом условий эксплуатации.

При определении категории вероятности отказа каждой единицы карьерных самосвалов необходимо использовать статистику фактических значений

Таблица 1. Категории вероятности отказа

Table 1. Categories of probability of failure

| Категория (p) | Частота отказов |
|---------------|---------------------|
| 1 | Реже 1 раза в год |
| 2 | 1 раз в 3 месяца |
| 3 | 1 раз в 1 месяц |
| 4 | 1 раз в 1 неделю |
| 5 | Чаще 1 раза в сутки |

Тав, полученных при анализе фактических значений КТГ \ КИО за прошлые годы из системы АСД.

Отказы по вероятности возникновения (частоте) классифицируют по категориям в соответствии с Таблицей 1.

Оценка последствий отказов

Для каждого компонента необходимо определить возможные виды отказов и неисправностей.

Последствия отказов классифицируются по следующим критериям:

Безопасность:

- Угрозы жизни и здоровью персонала.
- Возможность возникновения аварийных ситуаций.

Производственные потери:

- Остановки оборудования, влияющие на общий производственный процесс.
- Снижение производительности.

Экономические затраты:

- Стоимость ремонта или замены компонентов.
- Потери от простоя.

Экологические последствия:

- Экологические последствия включают потенциальные выбросы опасных веществ, разливы топлива или масла, которые могут нанести вред окружающей среде.

Для каждого типа последствия рекомендуется использовать балльную шкалу оценки (например, от 1 до 5), где: 1 — незначительное влияние, 5 — критическое влияние.

В рамках данной методики определены основные узлы КС, которые критически важны для обеспечения его работоспособности. Рассмотрим конкретные виды возможных отказов для каждой группы компонентов, их причины и последствия

В таблице 2 представлен пример ключевого отказа и оценки его последствий, предприятиям горнодобывающей отрасли необходимо провести комплексную оценку каждой возможной неисправности или отказа, с учетом влияния факторов на каждом конкретном производстве.

Определение критичности отказов

На основе данных о вероятности отказов и их последствиях определяется уровень критичности для каждого компонента. Для этого используется матрица риска (рисунок 2), которая комбинирует вероятности и последствия.

Критичность классифицируется следующим образом:

Низкий риск: Требуется базовое плановое обслуживание (ТО-1, ТО-2).

Средний риск: Требуется дополнительное внимание и профилактические меры.

Высокий риск: Приоритетное включение в график ТОиР.

Очень высокий риск: Немедленные меры по устранению или снижению риска.

Разработка плана мероприятий по управлению рисками

На основе оценки рисков необходимо определить стратегии управления каждым конкретным

риском. Это может включать в себя следующие подходы:

- Избегание рисков: исключение опасных действий или ситуаций, которые могут привести к риску;

- Передача рисков: заключение страхования или договоров с подрядчиками для переноса ответственности за риск;

- Снижение рисков: внедрение технических улучшений, обучение персонала, разработка процедур безопасной эксплуатации [24-26];

- Принятие рисков: осознанное принятие риска в случае, если его последствия не являются критическими или могут быть компенсированы.

Для компонентов с высоким и очень высоким уровнем риска разрабатываются мероприятия по снижению вероятности отказов и их последствий. Примеры мероприятий:

- Проведение предиктивного и профилактического обслуживания на основе данных диагностики;

- Усовершенствование конструктивных решений (например, замена узлов на более надежные);

- Внедрение систем мониторинга состояния самосвалов в реальном времени;

- Обучение персонала методам безопасной эксплуатации и реагирования на аварийные ситуации.

Мониторинг и пересмотр рисков

После проведения запланированных мероприятий необходимо оценить эффективность каждой стратегии управления рисками. Для этого следует:

- Рассчитать затраты и выгоды от реализации каждой стратегии управления рисками.

- Определить потенциальные риски и ограничения каждой стратегии управления рисками.

Идентификация и оценка рисков должны носить динамический характер. Чтобы обеспечить успешное применение риск-ориентированного подхода на практике горнодобывающие предприятия должны выполнять следующие действия:

- Периодически пересматривать уровни риска в зависимости от изменений условий эксплуатации, износа оборудования и появления новых данных;

- Внедрить системы сбора и анализа данных о работе самосвалов (например, телеметрия, датчики состояния узлов);

- Проводить регулярные аудиты системы управления рисками;

- Определить ответственных лиц: для каж-

Таблица 2. Пример определения возможного отказа по компоненту, его причины и последствия
Table 2. Example of determining a possible component failure, its causes and consequences

| | |
|----------------------------------|---|
| Группа компонентов | Силовая установка |
| Компонент | Двигатель |
| Возможный отказ | Перегрев двигателя |
| Причины | засорение радиатора, неисправность термостата, недостаток охлаждающей жидкости |
| Последствия | остановка работы, повреждение блока цилиндров, выход из строя поршневой группы |
| Оценка и обоснование | |
| Безопасность | 4 - Перегрев может привести к нагреву топлива, увеличению риска возгорания. |
| Производственные потери | 5 - Самосвал выходит из строя, что приводит к остановке транспортного процесса и снижению производительности |
| Экономические затраты | 5 - Необходимость капитального ремонта или замены блока цилиндров и поршневой группы, что требует значительных затрат |
| Экологические последствия | 3 - Разлив охлаждающей жидкости может загрязнить почву и грунтовые воды, но не является высокоопасным веществом. |

| Вероятность/ Последствия | Незначительные (1) | Умеренные (2) | Существенные (3) | Критические (4) | Катастрофические (5) |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Очень низкая (1) | Низкий риск | Низкий риск | Средний риск | Средний риск | Высокий риск |
| Низкая (2) | Низкий риск | Средний риск | Средний риск | Высокий риск | Высокий риск |
| Средняя (3) | Средний риск | Средний риск | Высокий риск | Высокий риск | Очень высокий риск |
| Высокая (4) | Средний риск | Высокий риск | Высокий риск | Очень высокий риск | Очень высокий риск |
| Очень высокая (5) | Высокий риск | Высокий риск | Очень высокий риск | Очень высокий риск | Очень высокий риск |

Рис. 2. Матрица определения риска
Fig. 2. The risk definition matrix

дой стратегии управления рисками определить ответственных сотрудников, которые будут отвечать за реализацию мероприятий и мониторинг результатов. Это может быть главный инженер, начальник службы безопасности, технический директор и т.д.

3. Применение методики в горной отрасли

Применительно к горной отрасли, необходимо учитывать специфические рабочие условия КС [27]:

- Высокая запыленность, влияющая на работу двигателя, фильтров и гидравлических систем.
- Интенсивные нагрузки на раму и ходовую часть.
- Сложные климатические условия (высокие или низкие температуры).
- Отдаленность мест эксплуатации, затрудняющая оперативное проведение ТОиР.

Кроме того, особое внимание следует уделять следующим аспектам:

- Учет сезонности работы: В зимний период повышается риск отказов, связанных с замерзанием жидкостей, снижением емкости аккумуляторов и ухудшением сцепления колес с поверхностью.
- Планирование запасов запчастей: Для минимизации простоев необходимо создание складских запасов критически важных компонентов.
- Обучение персонала: Подготовка специалистов, способных оперативно проводить диагностику и устранять неисправности в полевых условиях.

4. Рекомендации по внедрению методики

1. Создание рабочей группы: Для реализации методики рекомендуется сформировать рабочую группу из представителей инженерно-технических служб, специалистов по ТОиР и экспертов по управлению рисками.

2. Разработка регламентов: Создать внутренние документы, регламентирующие порядок идентификации и оценки рисков, а также критерии их критичности.

3. Цифровизация процессов:

Внедрение цифровых систем мониторинга состояния КС.

Использование аналитических платформ для обработки данных о надежности и отказах.

4. Обучение персонала:

Проведение регулярных тренингов по работе с методикой.

Обучение операторов и ремонтных бригад раннему выявлению и устранению неисправностей.

5. Интеграция с общей системой управления предприятием:

Связь риск-ориентированного подхода с существующими системами управления производственными процессами и ТОиР.

Интеграция оценки рисков с ERP-системами (например, SAP, 1С или специализированные решения для горнодобывающей отрасли).

6. Периодический пересмотр методических подходов и разработанных стратегий по управлению рисками:

Учитывать изменения условий эксплуатации, появление новых типов оборудования, а также накопленные данные о надежности и отказах.

Обновление критериев критичности и процедур оценки рисков на основе реальных данных.

7. Аудит эффективности:

Организовать систему регулярной проверки эффективности внедренной методики.

Оценивать, насколько меры по управлению рисками снижают вероятность отказов и уменьшают последствия.

Анализировать затраты на ТОиР в сравнении с уменьшением простоев и аварий.

Заключение

Внедрение риск-ориентированного подхода к техническому обслуживанию и ремонту карьерных самосвалов позволяет существенно повысить надежность и безопасность эксплуатации оборудования, минимизировать простои и оптимизировать затраты. Настоящая методика основана на принципах и рекомендациях действующих стандартов (ГОСТ Р 27.606-2013, ГОСТ Р ИСО 31000-2019), а также адаптирует подходы, применяемые в других отраслях к условиям горнодобывающей отрасли.

Основные преимущества предлагаемой методики:

1. Систематизация процессов ТОиР: внедрение единого подхода к идентификации и управлению рисками.
2. Повышение безопасности и надежности: снижение вероятности аварийных ситуаций.
3. Оптимизация затрат: разумное распределение ресурсов на ТОиР в зависимости от критичности оборудования.
4. Гибкость и адаптивность: возможность настройки методики под особенности конкретного предприятия и условий эксплуатации.

Методика может быть успешно использована как на крупных горнодобывающих предприятиях с большим парком карьерной техники, так и на средних и малых предприятиях, стремящихся повысить эффективность своих производственных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 57329-2016/EN 13306:2010. Системы промышленной автоматизации и интеграции. Системы технического обслуживания и ремонта. Термины и определения.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.
3. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
4. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике (ССНТ). Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
5. ГОСТ Р 27.605-2013. Надежность в технике (ССНТ). Ремонтпригодность оборудования. Диагностическая проверка.
6. ГОСТ Р 27.606-2013. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность.

7. ГОСТ Р 51901.3-2007 (МЭК 60300-2:2004) Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности.

8. ГОСТ 57330-2016 / EN 15341:2007 Системы промышленной автоматизации и интеграции. Системы технического обслуживания и ремонта. Ключевые показатели эффективности.

9. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения;

10. ГОСТ Р 27.303-2021 Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов;

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

12. ГОСТ Р 55.0.01-2014 Управление активами. Общее представление, принципы и терминология;

13. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических сетей. Приказ Минэнерго России от 26.07.2017 №676.

14. Об утверждении методических указаний по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа. Приказ Минэнерго России от 19.02.2019 № 123.

15. John A. Harnly, Risk based prioritization of maintenance repair work, Wiley Process Safety Progress, June 2004 17(1):32 – 38. DOI:10.1002/prs.680170108

16. ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006). Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.

17. В.В. Утюгова, Н.О. Ковальковская, А.И. Фомин, В.С. Сердюк. Формирование понятийного аппарата и обоснование выбора метода прогнозирования профессиональных рисков в горной отрасли. Вестник №1 - 2021, с. 63

18. ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Анализ дерева событий

19. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Утверждено Приказом № 144 от 11 ап-

реля 2016 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Документ предоставлен Консультант Плюс. www.consultant.ru. Дата обращения: 09.04.2020.

20. Чмыхалова С.В. Горное предприятие — как природно-техническая система. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Mining Information and analytical bulletin (scientific and technical journal). — 2018 №1 (специальный выпуск 1). М.: Издательство «Горная книга», с. 343—3493.

21. Горнодобывающая промышленность, 2019 г. Ресурсы для будущего. PwC. <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gornodobyvayuschaya-promyshlennost-2019.pdf>

22. Bonsu J., W. van Dyk, Franzidis J-P., Petersen F.†, Isafiade A. A systems approach to mining safety: an application of the Swiss Cheese Model. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, Vol. 116 pp. 777—784

23. Lluís Sanmiquel, Marc Bascompta, Josep M. Rossell, Hernán Francisco Anticoi and Eduard Guash. Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data-Mining Techniques. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018, 15, 462

24. ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 N 116-ФЗ (последняя редакция)

25. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 №63

26. Новоселов А.Л. Экономика, организация и управление в области недропользования: учебник и практикум для магистров / М.: Издательство Юрайт, 2014 — 625 с.

27. Годрати, Б. и Кумар, У. (2005), «Подход к оценке запасных частей на основе надежности и условий эксплуатации: тематическое исследование на шахте Кируна, Швеция», Журнал «Качество в технике обслуживания», 2005 - том 11, № 2, стр. 169-184. <https://doi.org/10.1108/13552510510601366>

© 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>, gvafz@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: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68

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

Platov South-Russian State Polytechnic University

* for correspondence: miroнова.ao@yandex.ru

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO IDENTIFY FAILURE RISKS AND DETERMINE THEIR CRITICALITY FOR MINING DUMP TRUCKS



Article info

Received:

15 January 2025

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

05 May 2025

Published:

05 June 2025

Keywords: risk-based approach; risk management; risk identification; assessment of the probability of failures; assessment of the consequences of failures; criticality of failures; mining dump trucks

Abstract.

Mining companies strive for maximum efficiency and safety. Quarry dump trucks (CS), being a key link, play a critical role in ensuring the smooth operation of the enterprise. The use of a risk-based approach to MRO makes it possible to minimize negative consequences by timely identifying and eliminating potential problems, which makes it relevant to develop methodological approaches to identifying and assessing the criticality of CS failure risks.

This work is devoted to the development of methodological approaches to the identification, classification and assessment of the criticality of CS failure risks in order to optimize the MRO strategy and increase operational efficiency. The article discusses various aspects related to the reliability and safety of CS operation, and suggests practical solutions to improve their operational readiness.

As part of the study, an analysis of existing methods for assessing the risks of technical system failures was carried out. Taking into account the specifics of CS operation in the conditions of mining enterprises, the most appropriate approach was chosen. An analysis of existing standards describing recommendations for ensuring equipment reliability and risk management has been carried out. Based on the standards, methodological approaches to the identification of failure risks have been developed and a multi-criteria system for classifying risks by criticality levels has been proposed, taking into account the likelihood of failure, potential consequences for the production process, personnel safety and the environment. Based on the

developed risk classification, recommendations have been formulated for optimizing the MRO plan of the CS, including determining the optimal frequency of preventive maintenance.

The developed approach allows us to rank the risks of CS failures by criticality and form informed decisions on the priority of MRO, resource allocation and cost optimization. The application of the methodology helps to increase the efficiency of MRO, reduce downtime, minimize financial losses and improve the safety of CS operation.

For citation: Chernyh V.G., Otrokov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Development of methodological approaches to identify the risks of malfunctions and failures and determine their criticality for mining dump Trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 2(178):59-68 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-59-68, EDN: VTFNIK

REFERENCES

1. GOST R 57329-2016/EN 13306:2010. Industrial automation and integration systems. Maintenance and repair systems. Terms and definitions.
2. GOST 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and definitions.
3. GOST 18322-2016. The system of technical maintenance and repair of equipment. Terms and definitions.
4. GOST 27.310-95. Reliability in engineering (SSNT). Analysis of the types, consequences, and criticality of failures. The main provisions.
5. GOST R 27.605-2013. Reliability in engineering (SSNT). Maintainability of the equipment. Diagnostic check.
6. GOST R 27.606-2013. Reliability in engineering Reliability management Reliability-oriented maintenance.
7. GOST R 51901.3-2007 (IEC 60300-2:2004) Risk management. A guide to reliability management.
8. GOST 57330-2016 / EN 15341:2007 Industrial automation and integration systems. Maintenance and repair systems. Key performance indicators.
9. GOST R 27.102-2021 Reliability in engineering. The reliability of the facility. Terms and definitions;
10. GOST R 27.303-2021 Reliability in engineering. Analysis of the types and consequences of failures;
11. GOST R ISO 31000-2019 Risk management. Principles and guidelines;
12. GOST R 55.0.01-2014 Asset management. General idea, principles and terminology;
13. Approval of the methodology for assessing the technical condition of the main technological equipment and power transmission lines of electric networks. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 26, 2017 No. 676.
14. On Approval of methodological guidelines for Calculating the probability of Failure of a functional unit and a unit of basic technological equipment and assessing the consequences of such a failure. Order of the Ministry of Energy of Russia dated 02/19/2019 No. 123.
15. John A. Harnly, Risk based prioritization of maintenance repair work, Wiley Process Safety Progress, June 2004 17(1):32 – 38. DOI:10.1002/prs.680170108
16. GOST R 51901.12-2007 (IEC 60812:2006). Risk management. A method for analyzing the types and consequences of failures.
17. V.V. Irons, N.O. Kovalkovskaya, A.I. Fomin, V.S. Serdyuk. Formation of the conceptual framework and justification of the choice of the method of forecasting occupational risks in the mining industry. Bulletin No. 1 - 2021, p . 63-18. GOST R IEC 62502-2014. The national standard of the Russian Federation. Risk management. Event Tree analysis
19. Safety Manual "Methodological foundations for hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production facilities". Approved by Order No. 144 dated April 11, 2016 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision. The document was provided by Consultant Plus. www.consultant.ru . Date of request: 04/09/2020.
20. Chmykhalova S.V. Mining enterprise as a natural and technical system. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). Mining Information and analytical bulletin (scientific and technical journal). — 2018 No. 1 (special issue 1). Moscow: Gornaya Kniga Publishing House, pp. 343-3493.
21. Mining industry, 2019 Resources for the future. PwC. <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gornodobyvayuschaya-promyshlennost-2019.pdf>
22. Bonsu J., W. van Dyk, Franzidis J-P., Petersen F.†, Isafiade A. A systems approach to mining safety: an application of the Swiss Cheese Model. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, Vol. 116 pp. 777—784
23. Lluís Sanmiquel, Marc Bascompta, Josep M. Rossell, Hernán Francisco Anticoi and Eduard Guash. Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data-Mining Techniques. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018, 15, 462
24. Federal Law "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities" dated 07/21/1997 N 116-FZ (latest edition)
25. Methodological recommendations for assessing damage from accidents at hazardous production facilities. Approved by Resolution No. 63 of Gosgortehnadzor of Russia dated 29.10.02

26. Novoselov A.L. Economics, organization and management in the field of subsoil use: textbook and workshop for masters / M.: Yurayt Publishing House, 2014 — 625 p.

27. Godrati, B. and Kumar, U. (2005), "An approach to evaluating spare parts based on reliability

and operating conditions: a case study at the Kiruna mine, Sweden," *Quality in Service Engineering Journal*, 2005 - vol. 11, No. 2, pp. 169-184. <https://doi.org/10.1108/13552510510601366c>

© 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, Novochoerkassk, 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, Novochoerkassk, 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, Novochoerkassk, 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, Novochoerkassk, 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, Novochoerkassk, 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, Novochoerkassk, 132 Prosveshcheniya str.), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5077-1440>, gvaflyz@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.

