

Научная статья

УДК 622.68:622.86

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-4-36-47

Кравчук Игорь Леонидович^{1,2}, Андреева Людмила Ивановна¹¹ Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН² ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства»

E-mail: tehnoem74@list.ru

ОЦЕНКА РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ В ИЗМЕНИВШИХСЯ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**Информация о статье**

Поступила:

08 февраля 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 августа 2023 г.

Принята к печати:

01 сентября 2023 г.

Опубликована:

12 сентября 2023 г.

Ключевые слова:

горнодобывающее предприятие, спрос на технику, финансовые затраты, политика закупок, изменение параметров, управление риском, управление рисками эксплуатации, закономерность проявления рисков, критичность отказов

Аннотация.

В статье представлены результаты анализа причин возникновения отказов техники, связанных в основном с малоэффективной организацией ремонтного обслуживания машин и рядом внешних факторов. Проанализированы тенденции управления риском на горнодобывающих предприятиях и обоснована актуальность формирования на горнодобывающих предприятиях системы контроля и управления рисками эксплуатации горной техники. Управление риском на отечественных горнодобывающих предприятиях и реализация риск-ориентированного подхода характеризуется особенностями, связанными с определением опасностей производства и экономической целесообразностью вложения инвестиций. Предложена логическая модель возникновения отказа машин, основанная на постепенном изменении параметров подсистем, позволяющая контролировать процессы износа, коррозии и деформации путем снятия информации о повреждениях с конкретных узлов. Также можно оценить состояние системы в целом и спрогнозировать поломку. На этой основе проведена оценка критичности отказов, целью которой была проверка достаточности и контроля принятых управленческих решений. Сформирована структура основных задач управления риском эксплуатации: задачи максимального риска, идентификация опасности, анализ риска эксплуатации оборудования, прогноз технического состояния оборудования. Даны примеры прогнозирования рисков при работе выемочно-погрузочной техники на горнодобывающих предприятиях, позволяющие заранее вычислить вектор развития дефекта, который может привести к остановке горной машины.

Для цитирования: Кравчук И.Л., Андреева Л.И. Оценка риска эксплуатации горной техники и оборудования в изменившихся условиях функционирования горного предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 4 (168). С. 36-47. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-4-36-47, EDN: MAVFNA

Статья подготовлена по результатам выполнения Госзадания №075-00412-22 ПП. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005).

Введение

Техническое перевооружение горной промышленности на основе автоматизации многих процессов связано с настоятельной необходимостью обеспечения надежной работы комплекса сложных и дорогостоящих машин и оборудования.

В последние годы количественно увеличилась и качественно усложнилась горная техника, эксплуатируемая на горнодобывающих предприятиях. Что касается выемочно-погрузочных машин — экскаваторов и погрузчиков, — то из 100% имеющейся техники только 56% составляет техника российско-

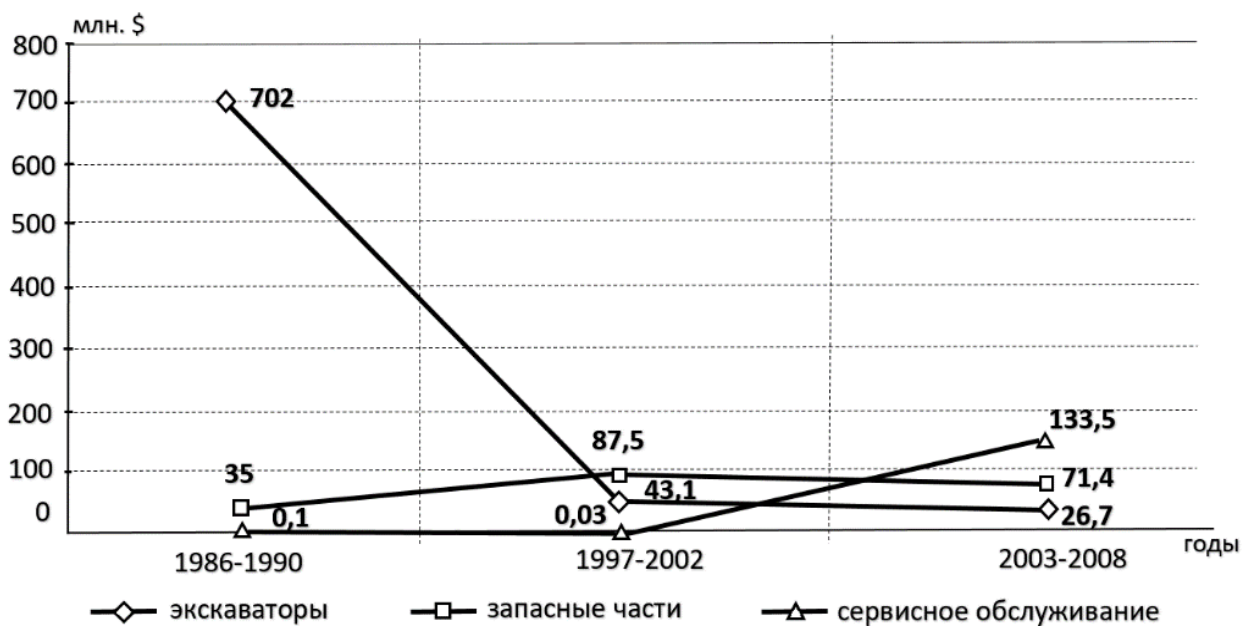


Рис. 1. Тенденции объема продаж оборудования, запасных частей и сервисных услуг ОМЗ ГО
 Fig. 1. Trends in the volume of sales of equipment, spare parts and services of OMZ GO

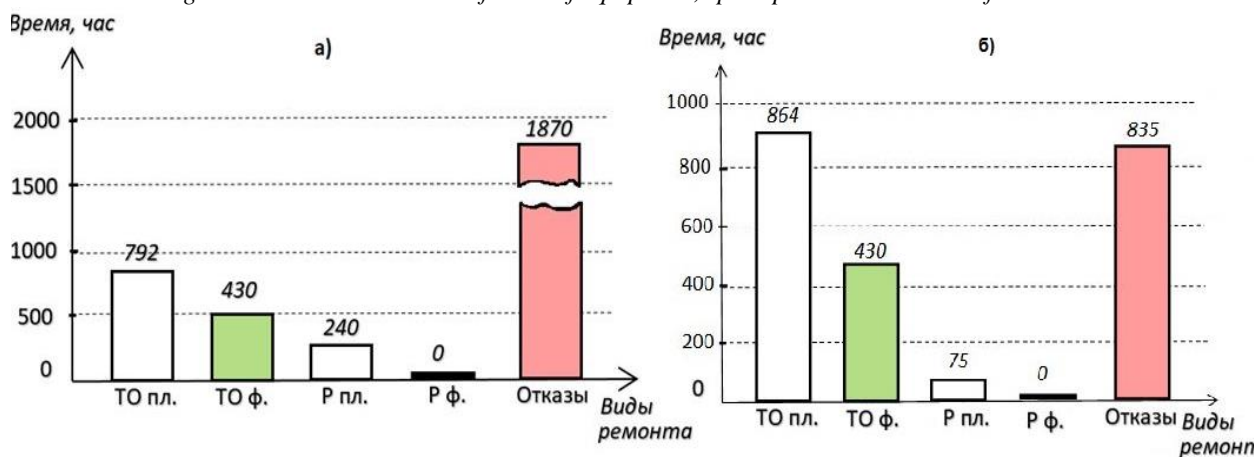


Рис. 2. Выполнение профилактического обслуживания и ремонта экскаваторов:
 а) ЭКГ-12А (10 лет); б) ЭКГ-10 (17 лет).
 Fig. 2. Performing preventive maintenance and repair of excavators:
 а) EKG-12A (10 years); б) EKG-10 (17 years).

го производства, 29% — производства Японии («Hitachi», «Comatsu»), 8% — производства США («Marion», «Harnischweger»), 7% — производства Германии («Libherr», «Terex»), 4% — производства Швеции («Volvo», («Libherr»). Всего рубежи Российской Федерации к 2016 г. пересекло 1130 ед. выемочно-погрузочной техники с емкостью ковша 4...50 м³.

Если вернуться к недавней истории отечественного машиностроения, то можно отметить следующее. Падение объемов производства в горнодобывающей промышленности в 1990-е годы обусловило формирование избытка погрузочных мощностей, что привело к падению спроса на технику и в итоге повлияло на перспективы развития отечественного машиностроения (Рис. 1).

По данным Уралмашзавода продажа экскаваторов с 1986 г. по 1990 г. составляла 1500 ед.; с 1997 г. по 2002 — 92 ед.; с 2003 г. по 2008 г. — всего 57 ед. [1].

Такое отставание привело к тому, что на карьеры всех отраслей горной промышленности начиная с 2000 г. поступает выемочно-погрузочное оборудование зарубежного производства.

Использование на горнодобывающих предприятиях импортной техники и оборудования потребовало значительных финансовых затрат и в какой-то мере стало препятствием изготовления и продажи таких популярных марок, как ЭКГ-10, ЭКГ-15, ЭКГ-18, ЭКГ-20.

Таблица 1. Наиболее употребляемые методы, используемые для управления риском
Table 1. The most commonly used methods used for risk management

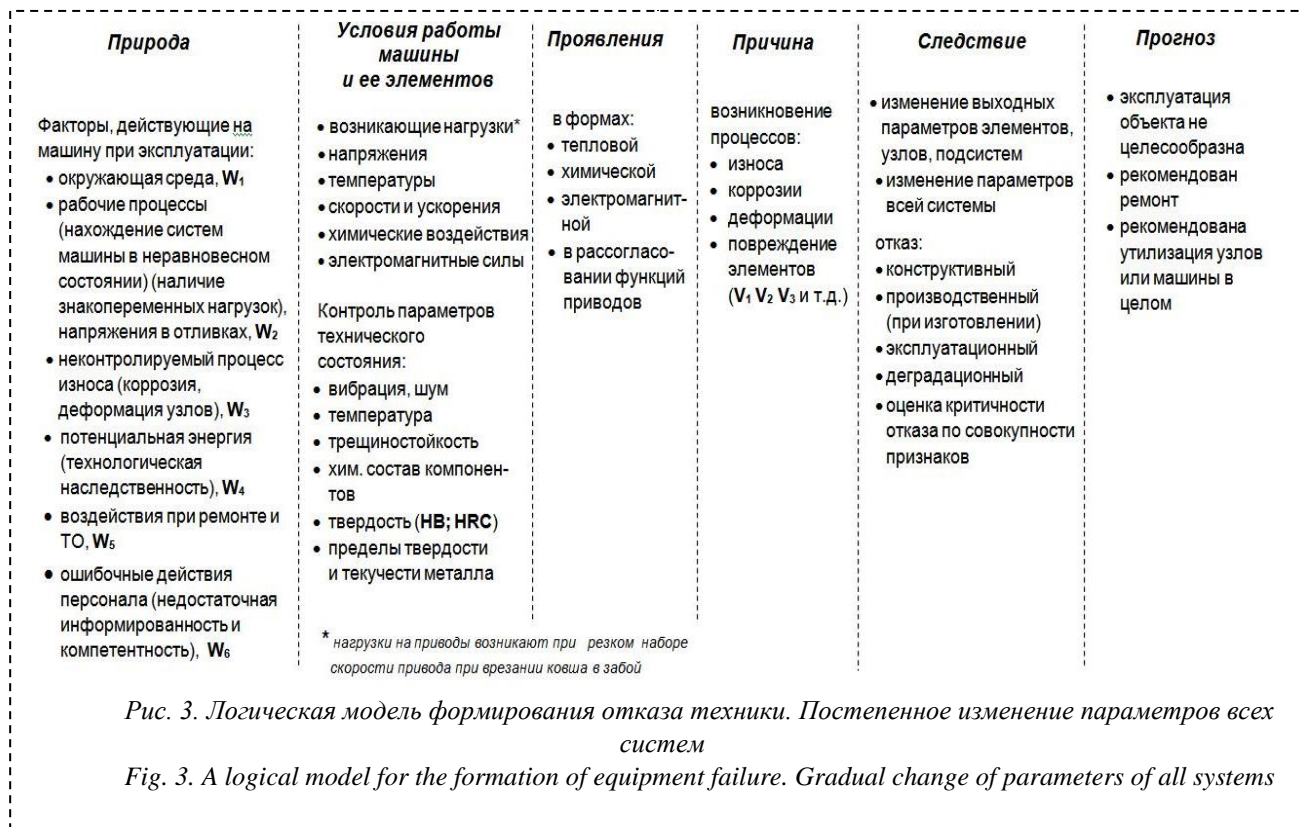
Метод	Суть	Используемый метод	Достоинства	Недостатки
Анализ риска «галстук-бабочка» (англ. bow-tie analysis)	Показывает связь источников риска и последствий его реализации и прочие связанные с ним сущности, такие как ключевые индикаторы риска или мероприятия по митигированию риска на одной диаграмме	Моделирование (дерево причин, дерево событий), статистический анализ	Наглядность, визуализация. Может быть применен в отношении благоприятных последствий. Не требует привлечения высококвалифицированных экспертов	Не позволяет отображать совокупности причин, возникающих одновременно. Представляет сложные ситуации в чрезмерно упрощенном виде, особенно при применении количественной оценки
Анализ воздействия на бизнес BIA (Business Impact Analysis)	Устанавливает, как различные виды негативных событий (нарушений, отказов или разрушений) могут влиять на основные направления деятельности компании и ключевые бизнес-процессы; Обеспечивает выявление и оценку имеющихся возможностей по митигации риска	Анкетирование, интервьюирование	Наглядность представления критических бизнес-процессов и возможностей достижения установленных целевых показателей, требуемых ресурсов	Определяются в основном человеческим фактором: недостаточная компетенция участников рабочих групп; субъективная оценка
Предварительный анализ опасностей PНА (Preliminary Hazard Analysis)	Идентификация потенциальных событий, возможных ситуаций и опасностей, которые могут причинить вред деятельности или системе (реестр опасностей или факторов риска, рекомендации по управлению риском, проектные требования к системе)	Моделирование, мозговой штурм	Можно использовать в условиях недостаточности информации. Полученная информация может быть использована для разработки требований к системе, которая проектируется	Актуален на старте проекта. Не дает окончательных оценок и не обеспечивает детальную информацию о рисках и способах их митигации
Программа Near-miss («едва не случилось», «близкое столкновение»)	Программа позволяет отследить и исключить потенциально опасные ситуации. Анализ негативных событий для их исключения из рабочего процесса, а также для недопущения выявленных ошибок в будущем	Анкетирование, интервьюирование	Предотвращение негативных событий. Полнота: рассматривается каждое событие, расследуются происшествия и т.д. Вовлеченность каждого сотрудника	Необходимо скрупулезное обучение для работы по данной методике. Реактивные, а не проактивные меры предотвращения негативных событий
Поведенческий аудит безопасности (ПАБ)	Наблюдение за работниками, выявление опасных действий и условий труда и устранение недостатков	Анкетирование, интервью	Не требует больших затрат. Регулярность и полнота проверок. Немедленная корректировка опасных действий	Значительный этап подготовки персонала. Нацеленность на устранение опасных действий работника, а не на установление их причин

Резкое изменение политики закупа и поставки в Россию запасных частей на импортную технику потребовали активизации имеющихся резервов и развития соответствующих навыков содержания горных машин и оборудования в надлежащем состоянии — с точки зрения безопасной и эффективной эксплуатации с приемлемым уровнем расхода ресурсов.

В этом первостепенном направлении основное место занимает вопрос совершенствования так называемого вспомогательного производства, которое по сути вспомогательным не является; оно обеспечивает производительность технологического процесса или, как принято говорить, основного производства. Успешное решение этой задачи в значительной степени зависит от освоения новых методов организации рабочих процессов в безопасном и эффективном режимах.

Анализ причин возникновения отказов техники, связанных с малоэффективной организацией ремонтного обслуживания машин и рядом внешних факторов

При эксплуатации горной техники происходит постепенное изменение параметров всех подсистем машины, что повышает вероятность внезапного отказа. Кроме того, существенное отклонение фактического объема профилактического обслуживания от планируемого в среднем на 40–60% (а ремонта – на 20–80%) приводит к увеличению доли сложных, трудозатратных, металлоемких восстановительных ремонтов, длительным простоям в отказах и ожиданию поступления запасных частей в связи с логистическими проблемами увеличения сроков поставки (Рис. 2).



Практика показывает, что невыполнение профилактических работ связано с качеством планирования и организации ремонтных работ, отсутствием качественных запасных частей (брак 20-30%), несвоевременной остановкой техники на ремонт (от 5 до 15 суток), так как приоритетом является производственная необходимость. Необоснованное перенесение сроков ремонта не только приводит к прогрессирующему износу техники, к неравномерной загрузке персонала ремонтной службы, но и нарушает нормальный ход производства.

Одной из сложных задач в изменившихся экономических условиях является определение вероятного ущерба из-за постоянного изменения базовой и эксплуатационной надежности горной техники. В связи с этим актуальным становится формирование на горнодобывающем предприятии системы контроля и управления рисками эксплуатации горных машин и оборудования.

Тенденции управления риском на горнодобывающих предприятиях

Возрастающий интерес к управлению рисками со стороны менеджмента предприятия обусловлен необходимостью усиления контроля над незапланированными затратами с целью обеспечения финансовой устойчивости предприятия.

Внешней среде горнодобывающего предприятия на данном этапе развития свойственны: нарастание геологической информации о параметрах залежей и содержания в них основных и попутных полезных компонентов; поэтапное формирование карьерного пространства и развитие транспортной системы карьера; переход с открытой к подземной или комбинированной геотехнологии; необходимость управления количеством и качеством направляемых на переработку потоков добываемой горной

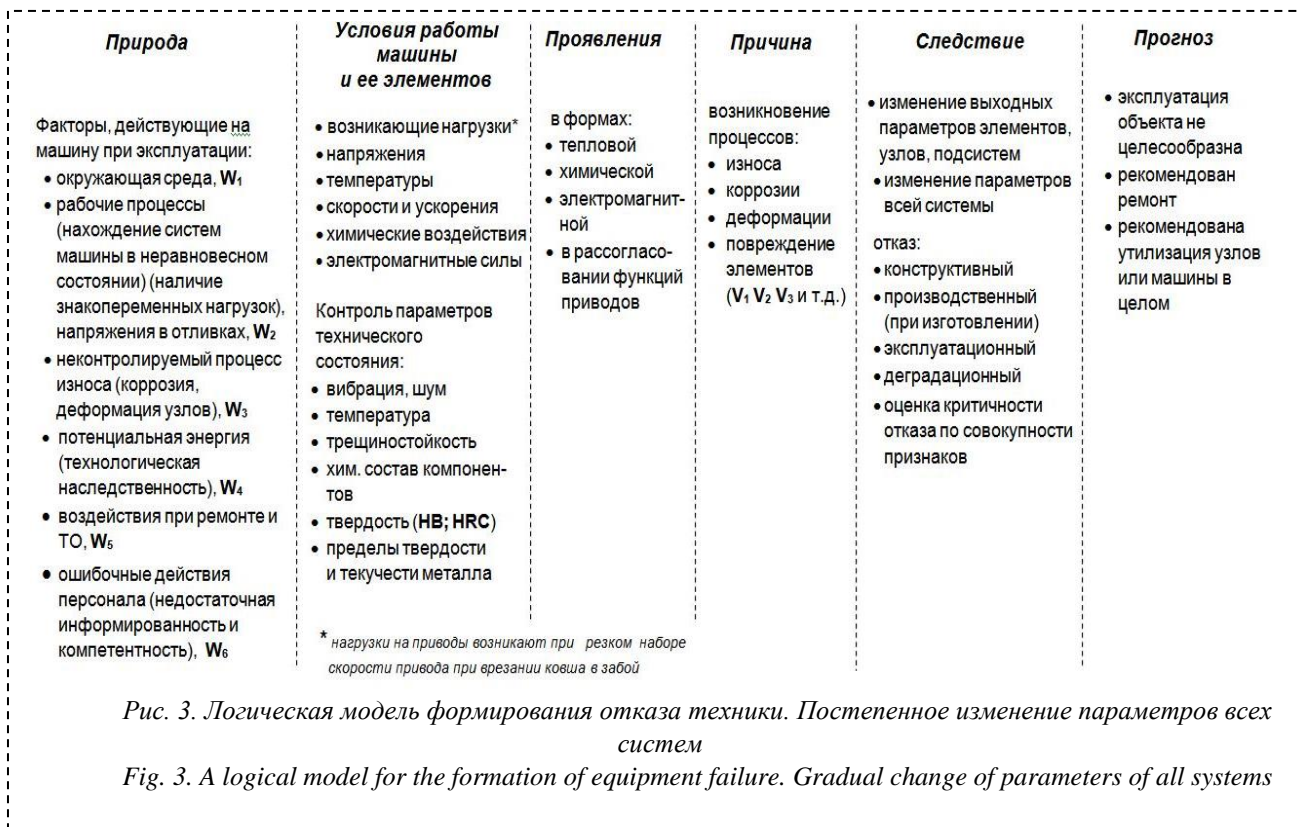
массы; применение более совершенных технических средств, составляющих основу инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья. Все эти изменения обуславливают, с одной стороны, растущую актуальность управления риском, с другой – усложнение процесса управления и необходимость применения методов управления риском, адекватных для сложившейся ситуации на горнодобывающем предприятии.

Вопрос выбора методик идентификации опасностей, анализа и оценки рисков, выявления их причин регулируется горнодобывающими предприятиями. Количество их достаточно велико: это и известные, часто употребляемые методы, и авторские методики, позволяющие осуществлять экспертную качественную оценку величины риска и тяжести последствий при его реализации, вероятности его реализации, количественно оценивать риски с применением экономических и других показателей и т.д. [2-9]. Рассмотрим самые распространенные из них (Таблица 1).

Эти и другие методики имеют свои достоинства и недостатки, разный уровень сложности и стоимость реализации.

Поэтому их выбор для применения должен быть обоснованным и определяться конкретными условиями производственной деятельности, решаемыми задачами, уровнем подготовки персонала, имеющимися ресурсами (время, деньги и др.), а также общей стратегией (моделью, концепцией) обеспечения безопасности производства. При выборе методов управления значение имеет и масштаб предприятий и компаний.

Анализ показывает, что существуют некоторые общие тенденции, характерные для предприятий горной отрасли. Управление риском на отечествен-



ных горнодобывающих предприятиях и реализация риск-ориентированного подхода характеризуются следующими особенностями:

– при идентификации опасностей и оценке риска все методики рассматривают производство в штатном режиме работы, а вполне закономерное присутствие отклонений производственного процесса от заданных значений и нарушений требований безопасности игнорируются. Такая работа предполагает, что отступлений от регламента и нарушений не должно быть априори. Поэтому риски, которые выявляют в производственном процессе, на фоне допускаемых отклонений этого процесса от регламентированных параметров воспринимаются надуманными, не имеющими отношения к реальности;

– экономическая целесообразность¹ (выгода) риска не учитывается в процессе управления, только его «негативная» составляющая — ущерб;

– методы управления риском осваиваются не системно, работа сосредоточена на оценке и методе ранжирования предприятий, и такой приоритет объясним — методы оценки просты и понятны, а адекватность решений и действий работников предприятия оценить сложно;

– новые методы используются только в оценке риска, а последующие функции управления риском — выбор метода устранения, планирование,

¹ Экономическая целесообразность — направленность на получение прибыли или выгоды в целом, оправданность понесенных расходов. Это экономическая целевая определенность. Под понятием целесообразности может выступать полезность, разумность, рациональность или уместность // <https://forexdengi.com/forum/forum-treyderov/forekspediya-konkurs-luchshih-otvetov-finansy/131468-cho-takoe-ekonomicheskaya-celesoobraznost>

контроль и т.д. — либо осуществляются традиционными методами, либо игнорируются.

Анализ практики работы позволил сформулировать закономерности управления риском на горнодобывающем предприятии:

– природа риска — дуальная (упрощая, риск — это и ущерб, и выгода), но это не учитывается в процессе управления рисками, и риск воспринимается только как опасность. Выгода, то есть «бонусная», выигрышная составляющая риска (в плановой экономике она была прерогативой государства, теперь — собственников и менеджеров высшего звена компаний, финансистов), не рассматривается и не учитывается в работе. Поэтому обостряется конфликт между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. В частности, конфликт проявляется при одновременном решении задач эксплуатации и ремонта (обслуживания) горной техники. Попытки управления риском с учетом его двойственной природы предпринимаются постоянно, в частности, пытаются учитывать одновременно и экономическую, и социальную составляющую (социально-экономическая выгода), но эти случаи единичные, о системной работе говорить преждевременно;

– управление риском зачастую ограничивается стадией количественной оценки риска, на основе которой осуществляется ранжирование рисков с целью выбора приоритета в работе. При этом устраняются самые высокие (частые) риски, но не всегда они имеют значимую тяжесть последствий. Кроме того, поскольку методик много, в работу берутся самые очевидные, простые, наглядные, а обоснованность цифр и данных при применении этих методик вызывает сомнения;

– риск-ориентированный подход реализован в самой простой его части, например, что касается государственных органов надзора. Ранжирование выполнили, сократили количество проверок на предприятиях с невысоким уровнем риска, а больше ни в чем система работы не изменилась, проверки осуществляются в той же форме, как и взаимодействие с предприятием. То есть управление риском ограничено его оценкой и ранжированием.

В этой связи для устранения недостатков, обусловленных закономерностями управления риском, на горнодобывающих предприятиях целесообразно управлять производственным риском. Понятие «производственный» включает в себя все факторы, оказывающие воздействие как на работников различных профессий в процессе их трудовой деятельности, так и на оборудование в процессе его эксплуатации. То есть производственный риск объединяет и экономические (невыполнение производственной программы, аварии, приостановки производства), и социальные риски (травмы).

Производственный риск связан с имущественным ущербом для организации в результате нанесения вреда подверженным воздействию производственных факторов жизни и/или здоровью работников и иных лиц, а также оборудованию, зданиям и сооружениям. Он включает в себя, как минимум, риск работодателя (корпоративный производственный риск), риск работника (личный профессиональный риск), риск государства (общественный социально-экономический риск). Поэтому управление производственным риском позволит учитывать все факторы сложной техносферы горного производства и достигать на предприятиях требуемого уровня безопасности и эффективности.

Суть подхода к управлению производственным риском, применяемого на горнодобывающих предприятиях для обеспечения безопасности производства, принята как концептуальная основа управления рисками эксплуатации и ремонта горной техники.

Логическая модель возникновения отказа машин, основанная на постепенном изменении параметров подсистем

Учитывая общие тенденции управления риском на горнодобывающих предприятиях, рассмотрим управление рисками эксплуатации горной техники. Поскольку ни ожидаемый ущерб, ни вероятность возможных отказов, аварий не могут быть приняты равными нулю, то признание приемлемости сопутствующего риска должно основываться на критериях, определяющих природу и закономерности проявления рисков при эксплуатации горной техники:

– производственная опасность нахождения функционирующих узлов и агрегатов техники в неравновесном состоянии (наличие знакопеременных нагрузок);

– неконтролируемый процесс износа, изменение геометрии соединений, коррозии, деформации узлов и машины в целом, который не позволяет спрогнозировать отказ;

– ошибочные действия персонала вследствие недостаточной информированности и компетентности.

Логическая модель формирования отказа техники на основе изменения параметров подсистем представлена на Рис. 3 [10].

Контролируя процессы износа, коррозии и деформации путем снятия информации о повреждениях с конкретных узлов, можно оценить их состояние и системы в целом, спрогнозировать поломку и определить остаточный ресурс узла.

В качестве базовой концепции анализа риска эксплуатации горнотранспортного оборудования (ГТО) рекомендуется использовать подход, основанный на принципе «безопасная эксплуатация по техническому состоянию».

Согласно этому принципу, оценка риска эксплуатации объекта осуществляется с учетом контроля его технического состояния в определенные периоды жизненного цикла. В зависимости от критериев предельного состояния, когда дальнейшая эксплуатация объекта нецелесообразна, условий и режимов эксплуатации, параметрами его технического состояния могут служить:

- технологические показатели (температура, параметры вибрации и шума и т.д.);
- характеристики материалов: пределы текучести, прочности, твердость, трещиностойкость, пределы выносливости, химический состав элементов;
- коэффициенты запасов прочности (по числу циклов) [11].

Для обеспечения полноты и объективности анализа риска эксплуатации технической объект относительно вероятности отказов разбивается на потенциально опасные элементы, узлы и подсистемы, для которых определяются наиболее повреждаемые зоны, вероятные причины повреждений, их природа, методы и периодичность диагностирования [12].

Затем проводится оценка критичности отказов с целью обоснования, проверки достаточности и контроля реализации управленческих решений, направленных на предупреждение возникновения и ослабление тяжести возможных последствий.

Оценка критичности отказов

Для расчета критичности отказов подсистем и элементов экскаваторов в соответствии с поставленными задачами производственно-технического аудита, проведенного на различных горнодобывающих предприятиях, нами был адаптирован расчет критичности отказов, приведенный в ГОСТ 27.310 – 95 [13,14,15].

$$C = B_1 \times B_2 \times B_3$$

где:

C – критичность отказа, балл;

B₁ – вероятность возникновения отказа за время эксплуатации машины, балл;

B₂ – оценка последствий отказа, балл;

B₃ – вероятность обнаружения отказа до передачи машины в эксплуатацию, балл.

Таблица 2. Оценка критичности отказа деталей, узлов и металлоконструкций (на примере конкретного экскаватора ЭКГ-10)

Table 2. Assessment of the criticality of failure of parts, assemblies and metal structures (using the example of a specific EKG-10 excavator)

Механизмы объекта	Вероятность отказа, балл (В ₁)	Последствие отказа, балл (В ₂)	Вероятность обнаружения отказа, балл (В ₃)	Критичность отказа, балл (С)	Коэффициент Критичности отказов (К _{ко})
Рабочее оборудование	8	9	7	504	0,5
Механизмы поворотной платформы	6	5	5	150	0,2
Опорно-поворотное устройство	3	2	4	24	0,03
Ходовой модуль	8	7	7	392	0,4

Вероятность возникновения отказа за время эксплуатации (В₁), последствие отказа (В₂) и вероятность его обнаружения (В₃) по шкале от 0 до 10 баллов была определена на основе визуально-инструментального и тепловизионного обследований горных машин, а также экспертной оценки технического состояния каждого элемента подсистем: рабочее оборудование, механизмы поворотной платформы, опорно-поворотное устройство и ходовой модуль (Таблица 2).

Для простоты восприятия критичность отказа (С) приведена в виде коэффициента критичности

отказов $K_{ко} = 1000$ баллов = 1,0, который характеризует максимально высокую вероятность отказа детали, узла, подсистемы и т.д.

На основе опытно-экспериментальных исследований, выполненных за последние 30 лет, значения коэффициента $K_{ко}$ характеризуют следующий уровень критичности отказов:

- 0,4 ... 1,0 – высокая критичность;
- 0,2 ... 0,3 – умеренная критичность;
- 0,1 ... 0,2 – допустимая критичность;
- 0 ... 0,1 – низкая критичность.

Анализ данных, представленных в Таблице 2, выявил высокую критичность отказов рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-10 (седловой подшипник) и ходового модуля (ведущие колеса, опорные катки, гусеничная цепь).

Формирование структуры основных задач управления риском эксплуатации горной техники

В результате выполненных работ по расчету критичности элементов подсистем и анализа риска эксплуатации горного оборудования предложена структура основных задач управления риском эксплуатации горной техники (Рис. 4).

Проработка с ключевым персоналом горнодобывающих предприятий отдельных задач (№1.2, 2.1, 3.1, 3.2, 4.1, 5.1, Рис. 4) снижения риска эксплуатации горной техники в дальнейшем позволила: усилить контроль (каждые 5 дней) особо нагруженных узлов и механизмов; по результатам оценки технического состояния скорректировать маршру-

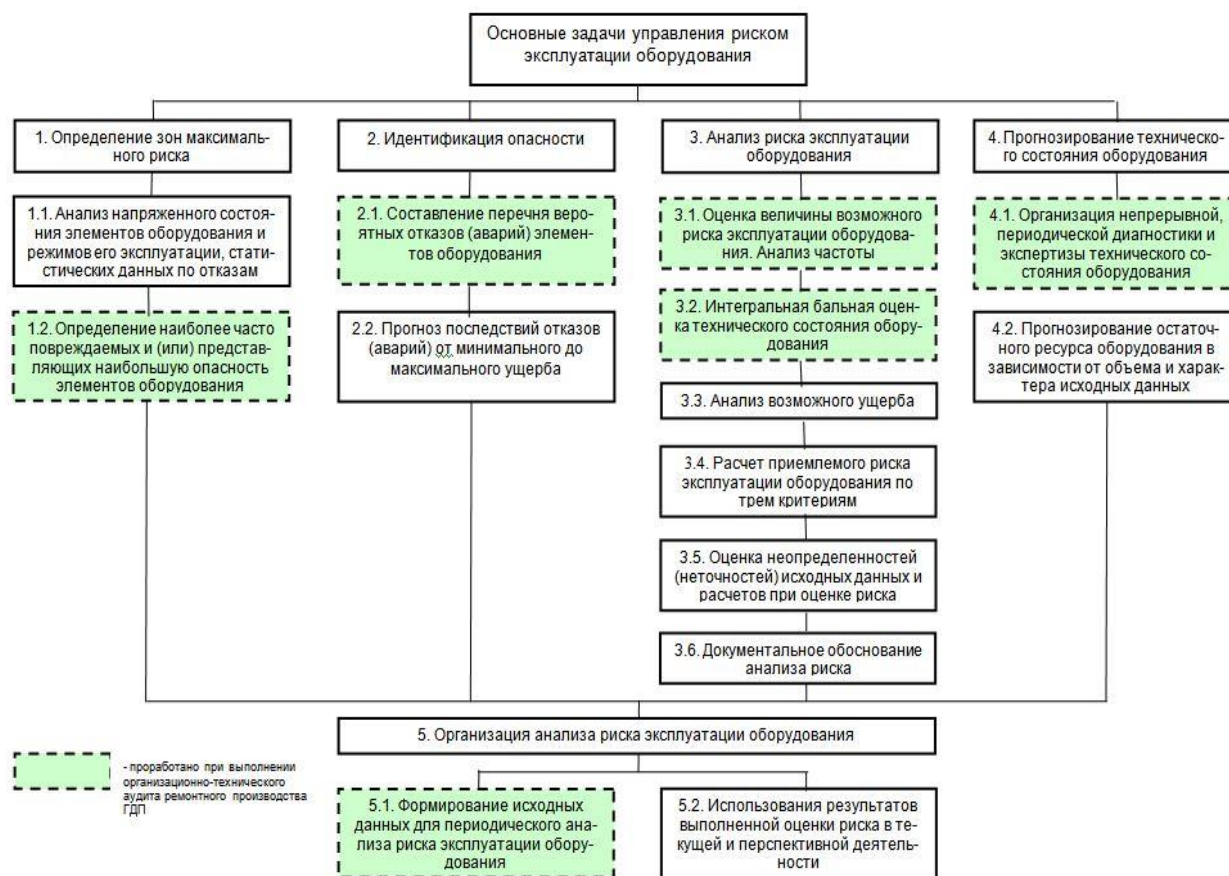
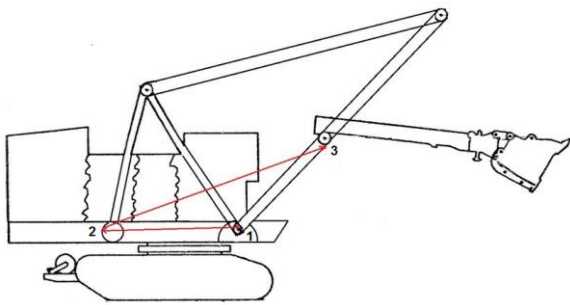


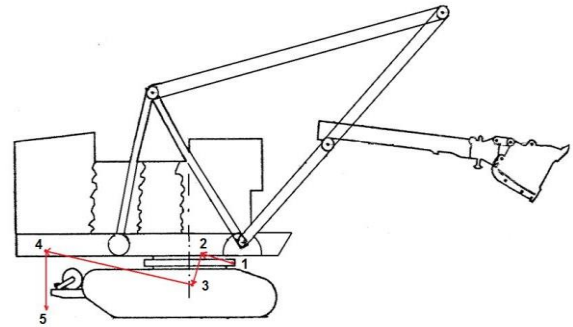
Рис. 4. Структура основных задач управления риском эксплуатации оборудования

Fig. 4. Structure of the main tasks of risk management of equipment operation



1-3 — точки проявления дефекта
1-3 – the points of manifestation of the defect

Рис. 6. Пример развития прогнозируемого отказа экскаватора ЭКГ-10. Рабочее оборудование.
Fig. 6. An example of the development of the predicted failure of the EKG-10 excavator. Working equipment.



1-5 — точки проявления дефекта
1-5 – the points of manifestation of the defect

Рис. 5. Пример развития прогнозируемого отказа экскаватора ЭКГ-8И. Опорно-поворотное устройство.
Fig. 5. An example of the development of the predicted failure of the EKG-8I excavator. Support-rotary device.

ты осмотра и технического обслуживания добычных комплексов; персонализировать ответственность ремонтного персонала за отклонения от маршрута; определить реальный объем и контролировать качество ремонтных работ; обосновать целесообразность поочередного вывода из эксплуатации 24 единиц техники с двух предприятий (северо-запад России, Республика Казахстан). Эти решения особенно актуальны в динамичных усло-

виях развития горнотехнических систем.

Приведем примеры развития прогнозируемых отказов узлов горной техники. На Рис. 5 приведен пример развития прогнозируемого отказа при перегоне экскаватора ЭКГ 8И по уклону 13-14°.

Дефект: отрыв роликов (16 шт.) от поверхности качения верхнего рельса до 15 мм по ходу движения экскаватора. Трещина постели крепления

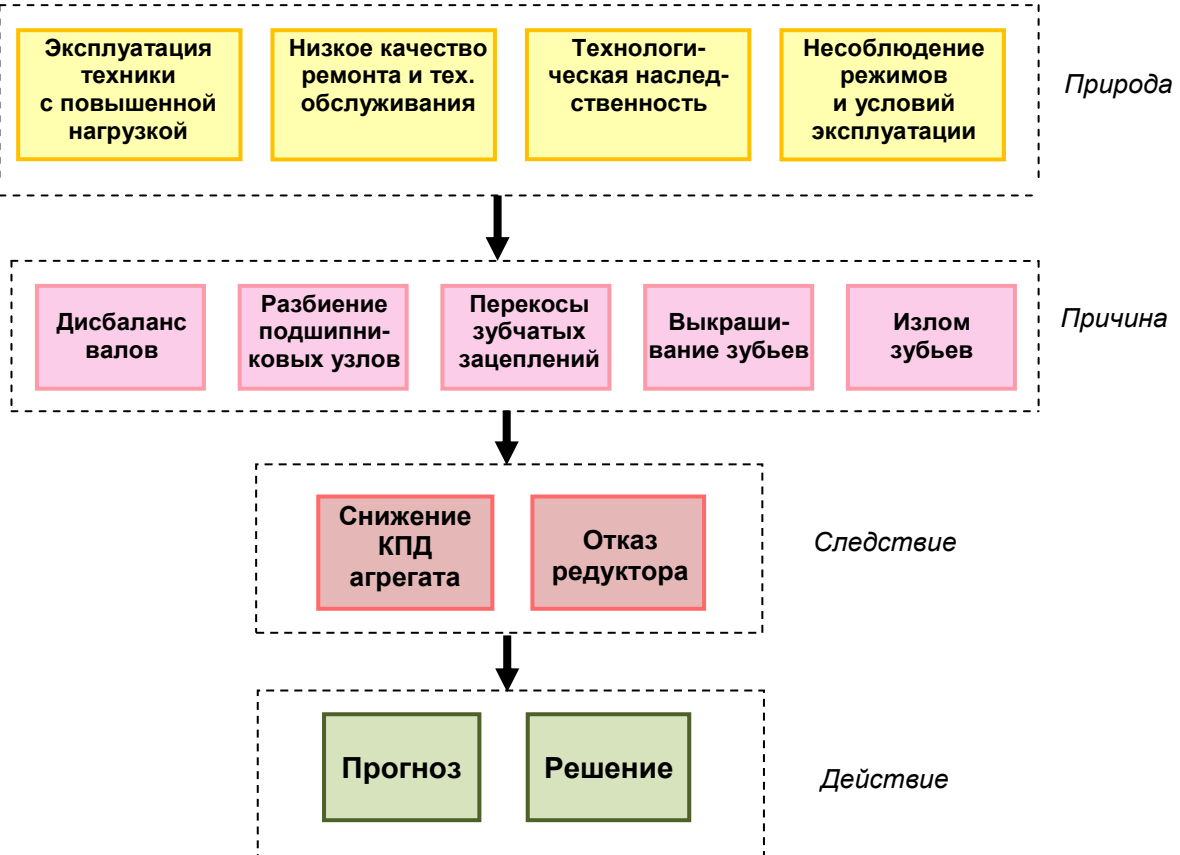


Рис. 7. Процесс развития аварийного состояния агрегата – редуктор механизма напора экскаватора ЭКГ-10.

Fig. 7. The process of development of the emergency state of the unit – the reducer of the excavator head mechanism EKG-10.

верхнего рельса $L=2500$ мм.

Прогноз развития дефекта: при дальнейшем движении → увеличение зазора между поверхностью качения роликов и верхним рельсом → стремительное развитие трещины постели крепления верхнего рельса → смятие резьбы гайки центральной цапфы → изгиб центральной цапфы → просадка поворотной платформы на противовес → аварийная остановка экскаватора.

На Рис. 6 приведен пример прогнозируемого отката при развитии трещины консоли передней двуноги экскаватора.

Дефект: трещина консоли передней двуноги экскаватора ЭКГ-10 (действие знакопеременных динамических нагрузок).

Прогноз развития дефекта: развитие трещины передней двуноги → смещение передней двуноги → деформация (разрыв) крепления задней двуногой стойки → ослабление (смещение) стрелы и балки рукоятки относительно поворотной платформы → аварийная остановка экскаватора.

На Рис. 7 рассмотрен процесс развития аварийного состояния редуктора механизма напора экскаватора ЭКГ-10. Такой наглядный анализ позволяет спрогнозировать варианты развития событий и принять решения по дальнейшей эксплуатации экскаватора.

Подобные примеры анализа развития отказов (визуализация проблем горной техники), в первую очередь, помогают точно оценивать риски эксплуатации горной техники и оборудования, а во-вторых, являются основой для осуществления прогноза развития событий и выработки адекватных управленческих решений.

Заключение

Таким образом, при эксплуатации горной техники следует учитывать не только технические риски, приводящие к разрушению механизмов и влекущие за собой большие финансовые потери, но и социальные риски, реализующиеся, например, в травмах персонала эксплуатационного и ремонтного. Выбор методик оценки производственных рисков в большей части зависит от конкретных условий производства, уровня подготовки персонала, технического состояния эксплуатируемой техники. Поэтому управление производственным риском в динамике развития горнотехнических систем позволит учитывать многие факторы и усилит контроль над незапланированными затратами с целью обеспечения финансовой устойчивости горнодобывающего предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка общей модели сервисного обслуживания горной техники: Аналитическая записка по итогам имитационно-моделирующего семинара / ООО «НИИОГР. Екатеринбург, 2003. 39 с.
2. Захаров П., Пересыпкин С. Культура безопасности труда: Человеческий фактор в ракурсе

международных практик. М. : Интеллектуальная литература, 2021. 128 с.

3. Сухих В. С., Юрьева Л. В. Международные модели управления рисками: возможности применения и результаты // Российские регионы в фокусе перемен: Сб. докл. XI Междунар. конф. 17-19 ноября 2016 г. В 2 т. Екатеринбург, 2016. Т. 1. С. 794–808.

4. Управление рисками. Теория и практика создания системы управления рисками на предприятии [Сайт]. – URL: // <https://upravlenie-riskami.ru/> (дата обращения 25.01.2022).

5. Файнбург Г. З. Методы оценки профессионального риска и их практическое применение (от метода Файна-Кинни до наших дней) // Безопасность и охрана труда. 2020. № 2. С. 25–41.

6. Методы оценки риска: диаграмма галстук-бабочка // Управление рисками [Сайт]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-галстук-бабочка-в-оценке-риска/> (дата обращения 25.01.2022).

7. Методы оценки риска: анализ воздействия на бизнес BIA (Business Impact Analysis) // Управление рисками [Сайт]. URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-оценки-риска-bia-анализ-воздействия/> (дата обращения 25.01.2022).

8. Методы оценки риска: предварительный анализ опасностей PHA (Preliminary Hazard Analysis) // Управление рисками [Сайт]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-оценки-риска-pha/> (дата обращения 25.01.2022).

9. Управление профессиональными рисками / Министерство труда, занятости и социальной защиты Республики Коми // Охрана и условия труда в Республике Коми: Информационно-аналитический бюллетень. Сыктывкар, 2019. 30 с.

10. Андреева Л. И., Лапаева О. А. К вопросу определения периодичности замены основного горнотранспортного оборудования // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 6. С. 27-30.

11. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Набиуллин Р. Ш., Хорошавин С. А. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). 2022. № 4. С. 156-168. ISSN: 0236-1493. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-156.

12. Лагунова Ю. А., Хорошавин С. А., Набиуллин Р. Ш., Калянов А. Е. Анализ металлоконструкций стрелы карьерного экскаватора методом неразрушающего контроля // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 15. С. 115-123. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-115-123>.

13. Методика проведения энергетических обследований (энергоаудита) предприятий и организаций угольной отрасли: Одобрена на заседании координационного совета Минэнерго России по энергосбережению и повышению энергоэффективности в угольной промышленности (протокол от 29.05.2012 № 6) / ННЦ ГП «Институт горного дела им. А. А. Скочинского, ГОУ ВПО Московский гос-

ударственный горный университет, ООО «Экономические программы»; Минэнерго России. М., 2011. 89 с.

14. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. Минск, 1996. 23 с.

15. ГОСТ Р 51751-2001. Контроль неразрушающий. Контроль неразрушающий состояния материала ответственных высоконагруженных элементов технических систем, подвергаемых интенсивным термосиловым воздействиям. Общие требования к порядку выбора методов. Москва: Госстандарт России, [2001]. 11 с.

© 2023 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:

Кравчук Игорь Леонидович, директор; директор по безопасности горного производства, доктор техн. наук, Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.718, ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства» (ООО «НИИОГР»),

г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.711

Андреева Людмила Ивановна, гл. науч. сотр., доктор техн. наук, Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.718, e-mail: tehnorem74@list.ru

Заявленный вклад авторов:

Кравчук Игорь Леонидович – постановка исследовательской задачи в соавторстве; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; формулировка методологии управления риском; формулировка заключения.

Андреева Людмила Ивановна – постановка исследовательской задачи в соавторстве; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; формирование структуры основных задач; аналитические расчеты; выводы; формулировка заключения; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-4-36-47

Igor L. Kravchuk^{1,2}, Lyudmila I. Andreeva¹

¹ Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

² LLC "Research Institute of Efficiency and Safety of Mining Production"

E-mail: tehnorem74@list.ru

RISK ASSESSMENT OF THE OPERATION OF MINING MACHINERY AND EQUIPMENT IN THE CHANGING OPERATION CONDITIONS OF A MINING ENTERPRISE



Article info

Received:

08 February 2023

Accepted for publication:

15 August 2023

Accepted:

01 September 2023

Published:

Abstract.

The article presents the results of the analysis of the causes of equipment failures, mainly related to the inefficient organization of repair maintenance of machines and a number of external factors. The trends of risk management at mining enterprises are analyzed and the relevance of the formation of a system of control and risk management of mining equipment operation at mining enterprises is substantiated. Risk management at domestic mining enterprises and the implementation of a risk-based approach is characterized by features related to the identification of production hazards and the economic feasibility of investing. A logical model for the occurrence of machine failure is proposed, based on a gradual change in the parameters of subsystems, which allows to control the processes of wear, corrosion and deformation by removing damage information from specific nodes. You can also assess the state of the system as a whole and predict a breakdown. On this basis, an assessment of the criticality of failures was

12 September 2023

Keywords: mining enterprise, demand for equipment, financial costs, procurement policy, change of parameters, risk management, operational risk management, regularity of risk manifestation, criticality of failures.

carried out, the purpose of which was to check the sufficiency and control of the management decisions made. The structure of the main tasks of operation risk management has been formed: tasks of maximum risk, hazard identification, risk analysis of equipment operation, forecast of the technical condition of equipment. Examples of forecasting risks during the operation of the excavation and loading equipment at mining enterprises are given, allowing to calculate in advance the vector of the defect development, which can lead to a stop of the mining machine

For citation: Kravchuk I.L., Andreeva L.I. Risk assessment of the operation of mining machinery and equipment in the changing operation conditions of a mining enterprise. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 3(168):36-47 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-4-36-47, EDN: MAVFNA

REFERENCES

1. Development of a general model of maintenance of mining equipment: Analytical note on the results of the simulation and modeling seminar / LLC "NII OGR. Yekaterinburg, 2003. 39 p.
2. Zakharov P., Peresyphkin S. Occupational safety culture: The human factor in the perspective of international practices. Moscow: Intellectual Literature; 2021. 128 p.
3. Sukhoi V. S., Yuryeva L.V. International risk management models: application possibilities and results. *Russian regions in the focus of change: Sat. dokl. XI International Conference on November 17-19, 2016 In 2 vols.* Yekaterinburg. 2016; 1:794–808.
4. Risk management. Theory and practice of creating a risk management system at the enterprise [Website]. – URL: // <https://upravlenie-riskami.ru/> (accessed 25.01.2022).
5. Feinburg G.Z. Methods of occupational risk assessment and their practical application (from the Fine-Kinney method to the present day). *Occupational safety and health*. 2020; 2:25–41.
6. Risk assessment methods: bow tie diagram // Risk management [Website]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-галстук-бабочка-в-оценке-риска/> (accessed 25.01.2022).
7. Risk assessment methods: Business impact analysis BIA (Business Impact Analysis) // Risk Management [Website]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-оценки-риска-bia-анализ-воздействия/> (accessed 25.01.2022).
8. Risk assessment methods: Preliminary hazard analysis PHA (Preliminary Hazard Analysis) // Risk Management [Website]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-оценки-риска-pha/> (accessed 25.01.2022).
9. Occupational risk management / Ministry of Labor, Employment and Social Protection of the Komi Republic. *Occupational safety and conditions in the*

Komi Republic: Information and analytical bulletin. Syktyvkar, 2019. 30 p.

10. Andreeva L.I., Lapaeva O.A. On the issue of determining the frequency of replacement of the main mining equipment. *Mining equipment and electromechanics*. 2009; 6:27–30.

11. Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Digital model of the process of rock excavation by working equipment of a quarry excavator. *Mining information and analytical bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2022; 4:156-168. ISSN: 0236-1493. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-156.

12. Lagunova Yu.A., Khoroshavin S.A., Nabiullin R.Sh., Kalyanov A.E. Analysis of metal structures of the boom of a quarry excavator by non-destructive testing. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022; 15:115-123. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-115-123>.

13. Methodology of energy surveys (energy audit) of enterprises and organizations of the coal industry: Approved at the meeting of the Coordinating Council of the Ministry of Energy of the Russian Federation on energy conservation and energy efficiency in the coal industry (Protocol No. 6 dated 29.05.2012) / NSC SE "A. A. Skochinsky Institute of Mining, Moscow State Mining University, LLC "Economic programs"; Ministry of Energy of Russia. M., 2011. 89 p.

14. GOST 27.310-95. Reliability in technology. Analysis of the types, consequences and criticality of failures. The main provisions. Minsk, 1996. 23 p.

15. GOST R 51751-2001. The control is non-destructive. Non-destructive control of the material condition of the responsible high-loaded elements of technical systems subjected to intense thermosilic influences. General requirements for the method selection procedure. Moscow: Gosstandart of Russia, [2001]. 11 p.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Igor L. Kravchuk, director; director of Mining Safety, Dr. Sc. in Engineering, Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 718, LLC "Research Institute of Efficiency and Safety of Mining Production" (LLC "NIOGR"), Chelyabinsk, ul. Enthusiasts, 30, of.717.

Lyudmila I. Andreeva, chief researcher, Dr. Sc. in Engineering, Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 718, e-mail: tehno-rem74@list.ru

Contribution of the authors:

Igor L. Kravchuk – statement of the re-search task in co-authorship; scientific management; review of the relevant literature; conceptualization of the study; formulation of the methodology of risk management; formulation of the conclusion.

Lyudmila I. Andreeva – formulation of a research task in co-authorship; scientific management; review of relevant literature; formation of the structure of the main tasks; analytical calculations; conclusions; formulation of the conclusion; writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

