

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Альшанская А.А.¹, Доронин С.В.¹, Тюменцев В.А.²
¹Сибирский федеральный университет, Красноярск;
²АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный

Ключевые слова: экскаватор, надежность, горное предприятие, эксплуатация, анкетирование, экспертные оценки.

Аннотация. Проблема анализа, прогнозирования и обеспечения надежности сложных технических систем относится к классу слабоструктурированных, характеризующихся большим количеством слабоформализуемых факторов. Применительно к карьерным экскаваторам она усугубляется условиями открытого горного производства с преобладанием качественных и случайных факторов. К настоящему времени накопленные результаты исследований отказов, разрушений, аварий экскаваторов не привели к определению четких алгоритмов достижения заданной надежности. В настоящей работе для установления наиболее значимых факторов, определяющих эксплуатационную надежность парка экскаваторов, использовано анкетирование специалистов горных предприятий. Обработка результатов опроса позволило получить экспертные оценки влияния и взаимосвязи основных факторов формирования надежности. Установлено, что наиболее важными факторами являются качество организации и планирования технического обслуживания и ремонта, квалификация машиниста экскаватора и горно-технические условия эксплуатации. В связи с этим для решения задачи управления надежностью экскаваторов предлагается мониторинг и учет качественных значений этих факторов при организации текущего управления процессами планирования и организации ремонта.

EXPERT EVALUATION OF THE FACTORS OF INCREASING THE RELIABILITY OF THE MECHANICAL EQUIPMENT OF MINING EXCAVATORS

Alshanskaya A.A.¹, Doronin S.V.¹, Tyumencev V.A.²
¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk;
²ALROSA Joint Stock Company (PJSC), Mirny

Keywords: excavator, reliability, mining enterprise, operation, questioning, expert assessments.

Abstract. The problem of analyzing, predicting and ensuring the reliability of complex technical systems belongs to the class of weakly structured, characterized by a large number of weakly formalizable factors. With regard to mining excavators, it is exacerbated by the conditions of open-pit mining with a predominance of qualitative and random factors. To date, the accumulated results of studies of failures, destruction, accidents of excavators have not led to the definition of clear algorithms for achieving a required reliability. In this paper, to establish the most significant factors that determine the operational reliability of the excavator fleet, a questioning of specialists from mining enterprises was used. The processing of the questioning results made it possible to obtain expert assessments of the influence and interrelationships of the main factors in the formation of reliability. It has been established that the most important factors are the quality of organization and planning of maintenance and repair, the qualifications of the excavator driver and the mining and technical operating conditions. In this regard, to solve the problem of managing the reliability of excavators, it is proposed to monitor and take into account the qualitative values of these factors when organizing the current management of the planning and organization of repairs.

Введение

Изучению эксплуатационной надежности, причин и условий разрушений, отказов и аварий карьерных экскаваторов, разработке предложений по их недопущению в течение последних десятилетий посвящено настолько большое количество разноплановых публикаций, что даже написание литературного обзора на эту тему вызывает затруднение. В связи с этим дадим ссылки лишь на типичные работы, касающиеся различных аспектов анализа надежности экскаваторов.

Наибольшее внимание уделялось статистическому анализу показателей надежности [1], изучению влияния на отказы и разрушения конструкций экскаваторов климатических

условий [2], режимов работы машин [3], технологии подготовки к экскавации [4] и свойств [5] пород в забое, квалификации машиниста экскаватора [6], качества проектирования [7] и изготовления [8] машин, стратегии их ремонта и технического обслуживания [9].

Несмотря на то, что анализу эксплуатационной надежности посвящено большое количество работ, тема продолжает оставаться актуальной в силу того, что:

- постепенно обновляются парки машин на горных предприятиях (вводятся новые модификации машин с изменившимися конструктивными решениями, меняется структура парка оборудования, в том числе доли машин с разными емкостями ковшей);

- за последние годы существенно изменились условия хозяйствования (изменения в экономических отношениях, методах управления и организации производства непосредственно влияют на техническую политику предприятий в области стратегий эксплуатации, включая подходы к поддержанию уровня надежности оборудования (контролю технического состояния, организации и планированию технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), управлению запасами запасных частей)).

Нами собрана и обработана современная статистика отказов экскаваторов [10], которая демонстрирует отсутствие существенного улучшения надежности машин за длительный период времени. Это подтверждается следующими данными.

Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов разрезов Назаровский и Бородинский ПО «Красноярскуголь» проводился в [1]. Некоторые из рассмотренных в данной работе экскаваторы до сих пор находятся в эксплуатации: это ЭКГ-4У (зав. № 201), ЭКГ-12,5 (зав. № 1) и ЭКГ-12,5 (зав. № 2). При сравнении результатов анализа надежности парка экскаваторов, проведенного в [1] и нами, можно сделать вывод, что количество отказов и аварий оборудования за 30 лет не снизилось кардинально. Так, за 8 рассматриваемых в [1] лет эксплуатации (80-е годы прошлого столетия) 22 экскаваторов количество отказов составило около 3400 (в среднем 19,3 отказа машины в течение года), а за рассматриваемый нами период (с 2014 по 2019 гг.) эксплуатации 21 экскаватора типа ЭКГ, общее количество отказов составило около 1500 (в среднем 14,3 отказа машины в течение года). Сравнение также показывает, что доли отказов подсистем остались примерно на том же уровне – около 40% отказов электрической подсистемы и около 60% отказов механической подсистемы, при этом значимую долю занимают отказы рабочего оборудования экскаваторов. Это подтверждает актуальность анализа и установления наиболее значащих факторов формирования отказов и аварий, управление которыми позволит достичь наибольшего эффекта в повышении надежности парка машин.

Материалы и методы исследований

Имея дело с большим количеством факторов, влияющих на надежность, сложным их взаимодействием и разной интенсивностью проявления на различных горных предприятиях, предприняли попытку комплексного анализа надежности с использованием методов и технологий, хорошо развитых и апробированных в социологии [11, 12] – получению экспертных мнений путем опроса специалистов горнодобывающих отраслей в форме анкетирования.

Разработанная анкета (опросный лист) содержит 14 вопросов как закрытого, так и открытого типа, сгруппированных в следующие логические блоки для оценки:

- влияния эксплуатационных факторов на техническое состояние экскаваторов и интенсивность их отказов;

- частоты возникновения нарушений правил технической эксплуатации (ПТЭ) – нештатных ситуаций – в зависимости от опыта работы машиниста экскаватора (как косвенной характеристики квалификации), и степени опасности возникновения вследствие этих нарушений повреждений силовых конструкций рабочего оборудования;

- степени нагруженности силовых конструкций рабочего оборудования;

- перспективных направлений совершенствования организации и планирования технического диагностирования и ремонта экскаваторов.

Для обеспечения достоверности и адекватности результатов опрос проводился среди специалистов угольных разрезов и рудных карьеров Сибири и Дальнего Востока с существенно отличающимися горно-геологическими, горно-техническими и климатическими условиями (основные предприятия – разрезы Бородинский, Назаровский, Черногорский, Березовский, Переясловский в Красноярском крае, Ольжерасский и Виноградовский в Кемеровской области, Ерковецкий в Амурской области, Эльгинский в Якутии, карьеры Мазульский в Красноярском крае, Восточный и Юбилейный в Якутии).

К анкетированию привлекались специалисты, имеющие непосредственное отношение к эксплуатации парка экскаваторов и сталкивающиеся с проблемами надежности в своей повседневной практике – механики (в том числе главные), мастера, начальники цехов и участков, машинисты экскаваторов, специалисты неразрушающего контроля.

Опыт (стаж) работы опрошенных специалистов характеризуется следующим образом: до 5 лет – 3%, от 5 до 10 лет – 23%, от 10 до 20 лет – 24%, свыше 20 лет – 50%. Квалификация отражается следующим уровнем образования респондентов: профессиональное и среднетехническое – 33 %, высшее – 60%, наличие ученой степени (канд. техн. наук) – 7%. Эти характеристики существенно повышают степень доверия к результатам анкетирования.

В настоящей статье рассматривается та часть результатов анкетирования, которая, по мнению экспертов, позволяет выявить наиболее эффективные технические и организационные решения с позиций управления надежностью (максимального повышения при наименьших издержках).

Результаты

Физико-технические процессы, приводящие к ухудшению технического состояния машин, по мнению опрошенных на 45% формируются под влиянием естественных процессов износа и усталости, на 34% определяются нарушениями ПТЭ, и на 21% обусловлены влиянием причин другого происхождения.

При оценке вклада в причины отказов и аварий экскаваторов респондентами было дано следующее процентное распределение основных факторов: организация и планирование ТОиР – 24, стаж (квалификация) экипажа экскаватора – 24, горно-технические условия эксплуатации – 22, качество проектирования, изготовления и монтажа – 14, климатические условия – 13, другие факторы – 3.

Специалисты практически единодушны в оценке положительного влияния плановых ремонтных воздействий на снижение интенсивности отказов оборудования. Эта оценка составляет 81% для ТОиР и 90% для капитальных ремонтов. Очевидно, можно полагать, что непроведение плановых ремонтов или низкое их качество может привести к росту интенсивности отказов пропорционально рассматриваемым оценкам.

Мнения относительно целесообразности ориентированности разработки норм периодичности плановых ремонтов разделились следующим образом. При определении нормативной периодичности следует учитывать в первую очередь конструктивные характеристики (типоразмер) экскаватора (36%), климатические условия региона (26%), в меньшей степени принимать во внимание другие условия предприятия (16%) и общеотраслевые требования (14%). Необходимость учета других факторов оценена в 8%.

Отмечается также влияние стажа работы машиниста экскаватора на частоту нарушений ПТЭ, способствующих росту интенсивности отказов. В качестве примера в таблице 1 приведено распределение экспертных оценок частот нарушения ПТЭ при стаже машиниста до одного года. Результаты приведены в относительных показателях n : за единицу ($n = 1,0$) принята частота наиболее редкого нарушения (ударов обоймой блока ковша и рукоятью по головным блокам стрелы).

При увеличении стажа машиниста экскаватора опрошенными прогнозируется как снижение количества возможных нарушений ПТЭ, так и уменьшение их частоты (в том числе перераспределение частот возникновения разных нарушений ПТЭ). При стаже работы свыше

5 лет отрицательное влияние квалификации машиниста на интенсивность отказов может считаться пренебрежимо малым.

Табл. 1. Относительная частота прогнозируемых нарушений ПТЭ

Характер нарушения ПТЭ	<i>n</i>
Удар ковшом о забой в начале экскавации	8,3
Удар ковшом о транспортное средство при разгрузке ковша	6,5
Удар ковшом по гусеницам	5,5
Глубокое врезание ковша в грунт	4,8
Копание тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти	4,8
Удар упорами рукояти по упорам седлового подшипника	4,0
Режим стопорения ковша в забое	3,8
Совмещение подъема и поворота ковша	3,8
Совмещение напора и поворота ковша	3,0
Наклон площадки забоя более 5°	2,0
Удары рукояти по стреле	1,8
Удар облойкой блока ковша и рукоятью по головным блокам стрелы	1,0

Влияние низкого качества подготовки забоя (как одной из обобщающих характеристик горно-технических условий эксплуатации) на надежность экскаваторов оценено в следующих пропорциях: резко снижает – 45 %, в какой-то степени снижает – 52 %, практически не влияет – 3%. Таким образом, этот фактор следует отнести к одному из наиболее значимых.

Отметим также следующий аспект, связанный с влиянием возраста машин на интенсивность их отказов. По мнению большинства респондентов для карьерных экскаваторов на практике, как правило, не наблюдается явно выраженного соответствия интенсивности отказов классической *U*-образной кривой надежности [13]. В период ввода в эксплуатацию и приработки машин значительное повышение интенсивности отказов не выявляется, отчетливый рост количества отказов начинается в среднем после пяти лет эксплуатации.

Выводы

Основными факторами, влияющими на надежность экскаваторов, являются организация планирования ТОиР, квалификация машиниста экскаватора и горно-технические условия предприятия. По мнению респондентов, эти факторы характеризуются примерно одинаковой степенью влияния на надежность, и управлению этими факторами следует уделять равное внимание.

Основное направление совершенствования организации планирования ТОиР заключается в определении норм периодичности ремонта индивидуализировано для типоразмера (форм-фактора) экскаватора с учетом климатических условий его эксплуатации.

При профессиональной подготовке машинистов экскаваторов повышенное внимание следует уделять отработке навыков, исключая нарушения ПТЭ, причем преимущественно тех нарушений, которые по мнению экспертов допускаются наиболее часто машинистами с малым опытом работы.

Качеству подготовки забоя к экскавации необходимо уделить повышенное внимание, особенно при отработке этого забоя машинистом экскаватора с недостаточным опытом работы. Фактически можно говорить о формировании дополнительных, индивидуальных требований к забоям в связи с опытом работы машиниста экскаватора.

Заключение

При рассмотрении процесса эксплуатации парка оборудования в условиях конкретного горного предприятия как социотехнической системы нами получена количественная оценка экспертных представлений о значимости основных факторов, обуславливающих закономерности формирования надежности экскаваторов. Принципиально важно, что эти

факторы формируются и могут регулироваться именно в условиях горного предприятия, без привлечения проектировщиков и изготовителей горной техники. Статистический разброс мнений экспертов с учетом их высокой квалификации обусловлен значительными отличиями условий эксплуатации оборудования на горных предприятиях.

В связи с этим первоочередные практические меры по повышению эксплуатационной надежности экскаваторов представляются связанными с индивидуализированным подходом к организации и планированию ТОиР экскаваторов преимущественно с учетом качества подготовки забоя и квалификации машиниста экскаватора. Разработка и апробация такого подхода должны найти отражение в перспективных планах развития предприятий.

Список литературы

1. Москвичев В.В., Доронин С.В., Утехин С.А., Эбич В.Р. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов. Препринт №7. – Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1989. – 33 с.
2. Махно Д. Е., Шадрин А.И., Авдеев А.Н., Макаров А.П. Хладноломкость и хладостойкость металлоконструкций горных машин в условиях Севера. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 232 с.
3. Шарипов Р.Х. Изучение влияния скорости подъема ковша на долговечность рукояти экскаваторов с зубчато-реечным напором (на примере ЭКГ-5А): Дисс. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2013. – 131 с.
4. Путятин А.Н., Гореликов В.Г., Монахов В.Н., Насонов М.Ю. Влияние взрывной подготовки горных пород на циклическую долговечность экскаваторов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (95). – С. 27–29.
5. Сайтов В.И., Андреева Л.И., Красникова Т.И. Влияние грансостава забоя на количество отказов механизма напора экскаватора циклического действия [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №2. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?Id=5859>.
6. Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Оценка влияния квалификации машиниста экскаватора на качество управления [Электронный ресурс] // Развитие технических наук в современном мире: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – 2014. – Режим доступа: <https://izron.ru/articles/razvitie-tekhnicheskikh-nauk-v-sovremennom-mire-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-na-sektsiya-6-gornaya-i-stroitel'naya-tekhnika-i-tekhnologii-spetsialnost-05-05-00/otsenka-vliyaniya-kvalifikatsii-mashinista-eksavatora-na-kachestvo-upravleniya/>
7. Доронин С.В., Чурсина Т.А. Исследование напряженного состояния и проектных расчетов ковшей карьерных экскаваторов // Вестник машиностроения. – 2003. – №9. – С. 19-22.
8. Герике Б.Л., Хорешок А.А., Дрозденко Ю.В. Обеспечение качества выпускаемой продукции заводов горного машиностроения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №5(117). – С. 33-41.
9. Рассомагин А.С. Оптимизация стратегии технического обслуживания и ремонтов с применением интеллектуальных методов // Инновации и инвестиции. – 2019. – №7 – С. 130-136.
10. Альшанская А.А. Анализ статистики отказов карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2020. – С. 293-296.
11. Методы сбора информации в социологических исследованиях. Книга 1: Социологический опрос. / Отв. ред. В.Г. Андреевков, О.М. Маслова. – М.: Наука, 1990. – 212 с.
12. Методы сбора информации в социологических исследованиях. Книга 2: Организационно-методические проблемы опроса. Анализ документов. Наблюдение. Эксперимент / Отв. ред. В.Г. Андреевков, О.М. Маслова. – М.: Наука, 1990. – 224 с.
13. Барлоу З., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.

References

1. Moskvichev V.V., Doronin S.V., Utekhin S.A., Ebich V.R. Analysis of failures of mechanical equipment and metal structures of excavators. Preprint No. 7 – Krasnoyarsk: CC SB of the USSR Academy of Sciences, 1989. – 33 p.
2. Mahno D.E., Shadrin A.I., Avdeev A.N., Makarov A.P. Cold breaking and cold resistance of metal structures of mining machines in the conditions of the North. – Irkutsk: Publ. house of IrSTU, 2010. – 232 p.
3. Sharipov R. H. Study of the influence of the bucket lifting speed on the durability of the handle of excavators with rack-and-pinion head (using the example of EKG-5A): Diss. ... cand. of tech. sc. – Yekaterinburg: Ural State Mining University, 2013. – 131 p
4. Putyatin A.N., Gorelikov V.G., Monahov V.N., Nasonov M.Yu. Influence of explosive preparation of rocks on cyclic durability of excavators // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2013, no. 1(95), pp. 27-29.

5. Saitov V.I., Andreeva L.I., Krasnikova T.I. The influence of the face granulation on the number of failures of the pressure mechanism of a cyclic excavator [Electronic resource] // Modern problems of science and education. 2012, no. 2. – Access mode: <http://science-education.ru/ru/article/view?Id=5859>.
6. Nikitin K.V., Artamoshkin V.N., Steblin I.A. Assessment of the impact of excavator driver qualification on the quality of management [Electronic resource] // Development of technical sciences in the modern world: a collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference. – 2014. – Access mode: <https://izron.ru/articles/razvitie-tekhnicheskikh-nauk-v-sovremennom-mire-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-na-sektsiya-6-gornaya-i-stroitel'naya-tekhnika-i-tehnologii-spetsialnost-05-05-00/otsenka-vliyaniya-kvalifikatsii-mashinista-ekskavatora-na-kachestvo-upravleniya/>
7. Doronin S.V., Chursina T.A. Investigation of the stress state and design calculations of buckets of quarry excavators // Bulletin of Mechanical Engineering. 2003, no. 9, pp. 19-22.
8. Gerike B.L., Horeshok A.A., Drozdenko Yu.V. Ensuring the quality of products manufactured by mining engineering plants // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2016, no. 5(117), pp. 33-41.
9. Rassomagin A.S. Optimization of the strategy of maintenance and repairs using intelligent methods // Innovations and investments. 2019, no. 7, pp. 130-136.
10. Alshanskaya A.A. Analysis of failure statistics of quarry excavators // Technological equipment for mining and oil and gas industry: proceedings of the XVIII International Scientific and Technical conference "Readings in memory of V.R. Kubachek", held within the framework of the Ural Mining Decade. – Yekaterinburg: Ural State Mining University, 2020. – P. 293-296.
11. Methods of collecting information in sociological research. Book 1: A sociological survey. / Ed. by V.G. Andreenkov, O.M. Maslova. – M.: Science, 1990. – 212 p.
12. Methods of collecting information in sociological research. Book 2: Organizational and methodological problems of the survey. Document analysis. Observation. Experiment / Ed. V.G. Andreenkov, O.M. Maslova. – M.: Science, 1990. – 224 p.
13. Barlow Z., Proshan F. Statistical theory of reliability and reliability tests. – M.: Science, 1984. – 328 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Альшанская Анна Александровна – аспирант	Alshanskaya Anna Aleksandrovna – postgraduate student
Доронин Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы»	Doronin Sergey Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining machines and complexes
Тюменцев Владимир Александрович – руководитель проекта	Tyumencev Vladimir Aleksandrovich – project manager
alshanskaya_anna@inbox.ru	

Получена 22.03.2023