

SIMULATION OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF WEAK ROCKS WITH PLASTIC PROPERTIES

I.V. GORLOV¹, Dr. Sc., P.E. MITUSOV², Cand. Sc.

¹Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, Russian Federation, e-mail: gorloviv@yandex.ru

²Moscow Research and Development Institute of Technology and Innovation,
4, Nagatinsky 1st pr., 117105, Moscow, Russian Federation

A new approach to analysing the fracture of weak rocks with plastic properties is proposed. A review of the main theories of rock fracture is presented. Typical methods of crushing and classification of rocks are analysed. The necessity of designing new equipment for processing of weak rocks with plastic properties is substantiated. It is noted that this equipment provides simultaneous crushing and classification of weak rocks. The design of the shredder-classifier is proposed, the principle of its operation is described, as well as the basics of engineering calculations of its parameters.

Keywords: energy method, fields of slip lines, shear stresses, chopper shaft, perforated drum, tangential velocities.

Поступила в редакцию/received: 23.06.2023; после рецензирования/revised: 28.06.2023;
принята/accepted: 07.07.2023

УДК 621.879.3:658.5

ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНОСТИ РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАРКА ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ

С.В. ДОРОНИН, канд. техн. наук, А.А. АЛЬШАНСКАЯ, асп.

Сибирский федеральный университет, 660025, г. Красноярск,
пр-т Красноярский рабочий, 95, e-mail: alshanskaya_anna@inbox.ru

© Доронин С.В., Альшанская А.А., 2023

Дано обоснование приоритетности ремонтного обслуживания парка экскаваторов на горных предприятиях на основе оценки влияния на надежность машин большого числа факторов различной природы. Для формализации закономерностей формирования отказов под влиянием качественно описываемых эксплуатационных факторов получены экспертные знания путем анкетирования специалистов горных предприятий. На основании мониторинга значений эксплуатационных факторов выполнена формализованная оценка интегрального коэффициента их влияния на надежность. Предложено ранжирование парка машин по значениям интегрального коэффициента влияния.

Ключевые слова: парк экскаваторов, надежность, экспертные оценки, ремонтные воздействия.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-36-45

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 4 (20), 2023*

ВВЕДЕНИЕ

Современные технические системы характеризуются сложными структурой и поведением, а также причинно-следственным комплексом нарушений работоспособности [1]. Отказы и аварии происходят в связи с большим количеством факторов, многие из которых являются слабоформализуемыми (и сами факторы, и их влияние на надежность количественно исследовать и однозначно описать затруднительно). В связи с этим для слабоформализуемых факторов, описываемых преимущественно качественно, актуальна задача квантификации – нахождения количественной меры, выражения для оценки и характеристики качественно определяемых понятий [2, 3]. Соотнесение качественной характеристики с некоторой системой баллов – один из наиболее распространенных приемов квантификации [2]. Он нашел широкое распространение при решении практических задач в различных сферах инженерной деятельности [4–9].

Принципиальные способы управления надежностью (а точнее, ее повышением) известны. Это обоснованные и грамотные технические решения на всех стадиях жизненного цикла. В соответствии с закономерностями генезиса надежности [10] на каждой последующей стадии имеется уровень надежности, обусловленный решениями, принятыми на предыдущих стадиях. На стадии эксплуатации основной инструмент обеспечения надежности – выработка рациональной стратегии, включающей в себя организацию и планирование диагностических мероприятий, ремонтных воздействий, управление эксплуатационным персоналом, технологическим и вспомогательным оборудованием, а также другие управленческие решения. Стратегия эксплуатации применительно к парку оборудования практически всегда выстраивается с учетом ограниченности ресурсов (материальных, финансовых, трудовых, временных и др.). Таким образом, для поддержания высокого уровня готовности парка оборудования необходимо обосновать приоритетность распределения этих ресурсов между единицами оборудования в составе парка. В связи с этим актуально обоснование приоритетности распределения ресурсов с учетом максимального числа факторов, влияющих на надежность. В настоящей работе данная задача решается для составной части стратегии эксплуатации парка карьерных экскаваторов – определения приоритетности ремонтного обслуживания единиц парка – и включает в себя получение и анализ экспертной информации о слабоформализуемых закономерностях формирования отказов, а также использование ее при определении очередности ремонтных воздействий.

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС И ХАРАКТЕР ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ И АВАРИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Отказы и аварии карьерных экскаваторов являются предметом интереса исследователей в течение многих десятилетий. Значительный вклад в изучение закономерностей формирования эксплуатационной надежности названных машин внесли В.С. Квагинидзе, П.И. Кох, Д.Е. Махно, М.Ю. Насонов, И.А. Паначев, В.И. Русихин, А.И. Шадрин и многие другие авторы. Наибольшее влияние на снижение работоспособности оказывают эксплуатационные факторы, объединенные в группы:

климатические (высокие, низкие температуры, резкие их колебания; осадки; образование инея и наледей; повышенная влажность; запыленность; коррозионная агрессивность атмосферы; скорость ветра; солнечная радиация);

горнотехнические (физико-механические свойства пород, их категории по трудности экскавации; условия и сложность залегания пород, качество подготовки забоя к экскавации);

организационные (квалификация машиниста и нарушения правил технической эксплуатации; качество диагностики, технического обслуживания и ремонта; интенсивность загрузки оборудования).

Очевидно, далеко не все названные факторы поддаются однозначному количественному анализу и интерпретации. Однако даже в тех случаях, когда получены количественные оценки влияния отдельных факторов на надежность, пользоваться ими при решении практических задач часто оказывается затруднительно. Проиллюстрируем данный факт примерами.

Зависимость количества отказов механизма напора экскаватора ЭКГ-8И от гранулометрического состава (доли некондиции по критерию размера средневзвешенного куска) горной массы носит статистический характер и аппроксимируется нелинейно восходящей кривой с коэффициентом корреляции 0,7 [11]. При этом наблюдается значительный разброс фактических данных относительно аппроксимирующей кривой. Зависимость отражает интуитивно ожидаемый факт снижения надежности при увеличении доли некондиции, но количественно справедлива только для данного типоразмера экскаватора в условиях конкретного горного предприятия. Количественные оценки для других машин и/или других горнотехнических условий не могут быть получены из выполненного исследования [11], хотя качественная зависимость с очень большой вероятностью сохраняется, поскольку вытекает из физико-технических закономерностей нагруженности и разрушения элементов машин.

Влияние взрывной подготовки горных пород на долговечность экскаваторов изучается опосредованно, через зависимость относительных напряжений в конструкции (влияющих на ее долговечность) от приведенной мощности взрывов [12]. Последняя определяется при варьировании массы взрывчатого вещества от 70 до 300 т и расстояния от взрыва до экскаватора от 100 до 500 м. Количественная зависимость получена для металлоконструкции ходовой тележки ЭКГ-15 и подтверждает интуитивно ожидаемый рост напряжений (снижение долговечности) по мере роста мощности взрыва в связи с увеличением интенсивности порождаемого взрывом сейсмического воздействия. Количественная зависимость не может быть обобщена на другие узлы и/или типоразмеры карьерных экскаваторов, а также на отличающиеся горно-геологические условия распространения сейсмических волн, тогда как качественно очевидны рост напряжений и снижение надежности машин в связи с увеличением мощности взрыва.

Можно без дополнительных исследований с большой уверенностью утверждать, что при увеличении срока службы надежность оборудования будет снижаться в связи с его естественным износом. Для экскаваторов ЭКГ-5, ЭКГ-8, ЭКГ-15, ЭКГ-20, М-201, М-301 данный факт подтверждается статистикой изменения коэффициента технического использования по мере старения машин [13]. И для каждого типоразмера экскаваторов, и для экскаваторов различных типоразмеров, несмотря на наличие выраженной тенденции, статистический разброс коэффициента использования относительно средних значений достаточно велик даже в условиях одного предприятия. Таким образом, перенос этих количественных зависимостей на другие типоразмеры машин, тем более для условий других предприятий, не является обоснованным.

Аналогичны рассуждения для оценки влияния квалификации машиниста экскаватора на его надежность. С помощью экспериментальных осциллограмм показано влияние квалификации (разряда) машиниста на режимы работы главных приводов: высокой квалификации соответствуют более плавные осциллограммы, низкой – возникновение нагрузок, близких к стопорным [14]. Отсюда делается вывод о

более высокой надежности машин при управлении, осуществляемом более квалифицированным машинистом. Этот вывод, с одной стороны, представляется очевидным и без проведения исследования, с другой – подтверждается количественными зависимостями, справедливыми только для условий данного исследования.

Рассматриваемые примеры показывают, что для сложных технических объектов (к которым, безусловно, относятся карьерные экскаваторы) даже научно обоснованные количественные зависимости характеристик надежности от влияющих факторов имеют частный характер и в большинстве случаев подтверждают очевидные качественные закономерности. В связи с этим целесообразно рассматривать данные закономерности как слабоформализуемые и работать с ними при использовании соответствующих методов, основанных преимущественно на экспертных знаниях. Такой подход показывает свою эффективность применительно к исследованиям надежности карьерных экскаваторов [15, 16].

ПОЛУЧЕНИЕ И КВАНТИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ О СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ЭКСКАВАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Получение экспертных знаний осуществляется в целях принятия тех или иных управленческих решений. Последние определяют содержание и особенности сбора экспертной информации. Имея в качестве цели обоснование приоритетности ремонтного обслуживания парка экскаваторов, основное внимание исследователи уделили сбору экспертных знаний (в форме анкетного опроса) о влиянии слабоформализуемых эксплуатационных факторов на опасность возникновения отказов силовых конструкций и рабочего оборудования машин [17]. Для того чтобы свести к минимуму возможное влияние особенностей конкретных предприятий на результаты анкетирования, опрашивались специалисты угольных разрезов и рудных карьеров Сибири и Дальнего Востока с существенно различающимися 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).

При формулировке вопросов, направленных на обоснование приоритетности ремонтного обслуживания, исходили из того, что большинство факторов, определяющих эксплуатационную надежность, имеет одинаковое влияние на все экскаваторы в составе парка на конкретном горном предприятии. Различная надежность машин в составе парка обусловлена техническим состоянием в связи с возрастом, качеством подготовки забоя и квалификацией машиниста. Сами эти факторы по своей природе являются качественными и слабо формализуются, т.е. их невозможно описать одним числом. Так, качество подготовки забоя – комплексная характеристика, отражающая гранулометрический состав и коэффициент разрыхления горной массы. Техническое состояние в связи с возрастом обусловлено общим календарным сроком службы, а также количеством и сроками выполненных капитальных ремонтов. Квалификация машиниста может косвенно характеризоваться как разрядом, так и стажем.

Для учета влияния вышеуказанных факторов на надежность в целях выбора приоритетов ремонтного обслуживания были получены экспертные знания в виде оценок:

влияния низкого качества подготовки забоя на интенсивность отказов экскаваторов;

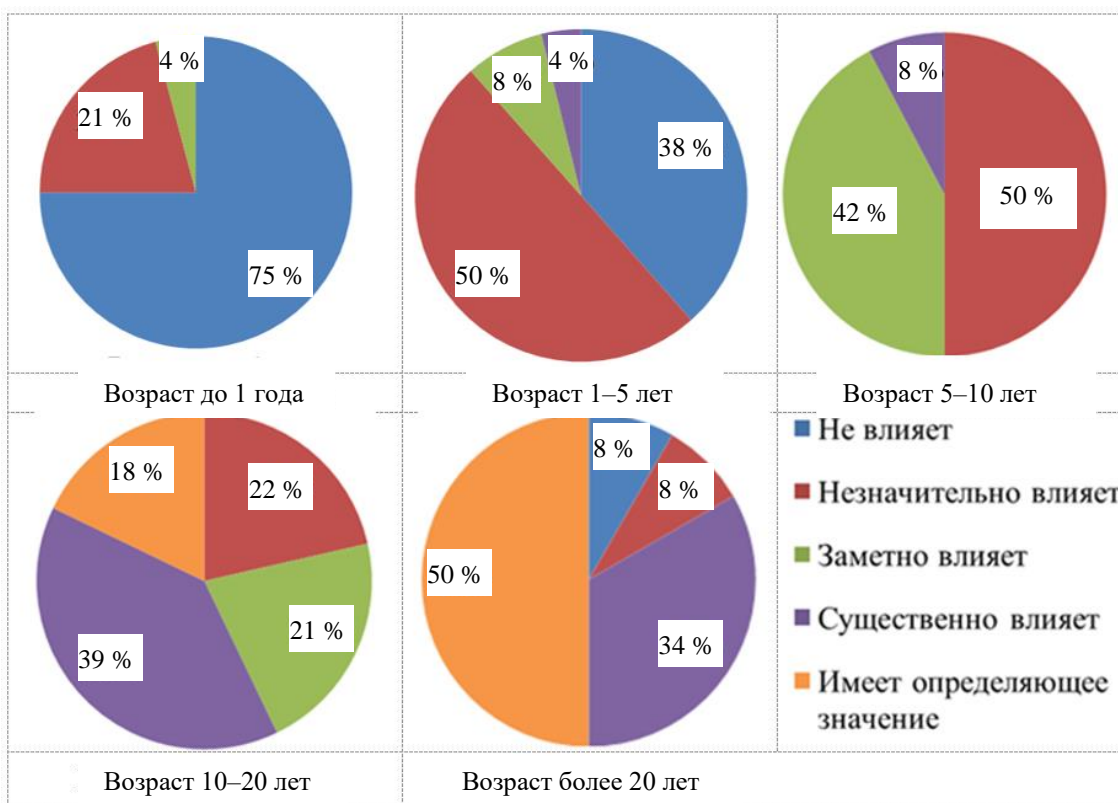
зависимости интенсивности отказов от возраста машины;

влияния опыта (стажа) работы машиниста экскаватора на техническое состояние и надежность машин;

средней частоты возникновения нештатных ситуаций или режимов эксплуатации в зависимости от опыта (стажа) машиниста экскаватора;

опасности повреждения элементов конструкции экскаватора при возникновении нештатных ситуаций или режимов эксплуатации.

В первичной форме эти знания получены в процентном соотношении ответов экспертов на соответствующие вопросы анкеты. В качестве примера представления первичных результатов анкетирования рассмотрим результаты ответов на вопрос «оцените среднее влияние возраста машины на интенсивность отказов». Возраст машины как влияющий фактор представлен пятью вариантами значений – временными интервалами до 1 года, от 1 года до 5 лет, от 5 до 10 лет, от 10 до 20 лет, более 20 лет. Перечень предложенных анкетировемым ответов включает в себя варианты: «не влияет», «незначительно влияет», «заметно влияет», «существенно влияет», «имеет определяющее значение». Таким образом были получены процентные соотношения качественных экспертных оценок влияния возраста машины на интенсивность отказов (рисунок).



Распределение экспертных оценок степени влияния возраста экскаватора на интенсивность его отказов

Квантификация качественных результатов осуществляется следующим образом. Для учета веса качественной характеристики вводится балльная величина, характеризующая степень влияния этой характеристики на надежность. Так, оценке «не влияет» присваивается 1 балл (влияние на надежность минимально); «незначительно влияет» – 2; «заметно влияет» – 3; «существенно влияет» – 4; «имеет определяющее значение» – 5 (максимальное влияние на надежность). Далее экспертная оценка определяется суммой произведений процентной доли качественной характеристики на соответствующий балл. Так, для возраста машины до 1 года эта оценка определяется как $75 \cdot 1 + 21 \cdot 2 + 4 \cdot 3 = 129$. Для других интервалов возраста, следовательно, получаем: от 1 года до 5 лет – $38 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 4 \cdot 4 = 178$; от 5 до 10 лет – $50 \cdot 2 + 42 \cdot 3 + 8 \cdot 4 = 258$; от 10 до 20 лет – $22 \cdot 2 + 21 \cdot 3 + 39 \cdot 4 + 18 \cdot 5 = 353$; более 20 лет – $8 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 34 \cdot 4 + 50 \cdot 5 = 410$. Из логических соображений принимаем, что возраст более 20 лет, характеризующийся накопленной экспертной оценкой степени влияния 410, соответствует наименьшим значениям надежности. Примем отрицательное влияние этого возрастного интервала на надежность за единицу ($410 \rightarrow 1$). Тогда отрицательное влияние остальных возрастных интервалов выразится следующими весовыми коэффициентами: до 1 года – $129/410 = 0,31$ ($129 \rightarrow 0,31$); от 1 года до 5 лет – $178/410 = 0,43$ ($178 \rightarrow 0,43$); от 5 до 10 лет – $258/410 = 0,63$ ($258 \rightarrow 0,63$); от 10 до 20 лет – $353/410 = 0,86$ ($353 \rightarrow 0,86$). Таким образом, в результате квантификации качественных экспертных оценок получены относительные коэффициенты количественного влияния возраста машины на ее надежность. Первичные данные и результаты квантификации представлены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние возраста машины на интенсивность отказов

Качественная экспертная оценка	Балл влияния	Возраст, лет				
		< 1	1–5	5–10	10–20	> 20
Не влияет	1	75	38			8
Незначительно влияет	2	21	50	50	22	8
Заметно влияет	3	4	8	42	21	
Существенно влияет	4		4	8	39	34
Имеет определяющее значение	5				18	50
Балльная оценка влияния	–	129	178	258	353	410
Коэффициент количественного влияния	–	0,31	0,43	0,63	0,86	1,00

Аналогичные построения выполняются для всех остальных влияющих факторов, включенных в рассмотрение. В общем виде, независимо от содержания вопроса анкеты, количества качественных экспертных оценок и значений влияющего фактора, для каждого из них первичные данные и результаты квантификации представлены в табл. 2.

Таблица 2. Формализация и квантификация экспертных оценок

Качественная экспертная оценка	Балл влияния	Значение фактора						
		Φ_1	Φ_2	...	Φ_i	...	Φ_{m-1}	Φ_m
O_1	B_1	$\mathcal{E}_{1,1}$	$\mathcal{E}_{2,1}$	...	$\mathcal{E}_{i,1}$	...	$\mathcal{E}_{m-1,1}$	$\mathcal{E}_{m,1}$
O_2	B_2	$\mathcal{E}_{1,2}$	$\mathcal{E}_{2,2}$	...	$\mathcal{E}_{i,2}$	...	$\mathcal{E}_{m-1,2}$	$\mathcal{E}_{m,2}$
.....
O_j	B_j	$\mathcal{E}_{1,j}$	$\mathcal{E}_{2,j}$	...	$\mathcal{E}_{i,j}$	...	$\mathcal{E}_{m-1,j}$	$\mathcal{E}_{m,j}$
.....
O_{n-1}	B_{n-1}	$\mathcal{E}_{1,n-1}$	$\mathcal{E}_{2,n-1}$	...	$\mathcal{E}_{i,n-1}$	...	$\mathcal{E}_{m-1,n-1}$	$\mathcal{E}_{m,n-1}$
O_n	B_n	$\mathcal{E}_{1,n}$	$\mathcal{E}_{2,n}$	...	$\mathcal{E}_{i,n}$	...	$\mathcal{E}_{m-1,n}$	$\mathcal{E}_{m,n}$
Балльная оценка влияния	....	V_1	V_2	...	V_i	...	V_{m-1}	V_m
Коэффициент количественного влияния	....	K_1	K_2	...	K_i	...	K_{m-1}	K_m

Балльная оценка влияния для i -го значения влияющего фактора определяется по формуле

$$V_i = \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{i,j} B_j, \quad i = 1, \dots, m.$$

Тогда коэффициент количественного влияния

$$K_i = \frac{V_i}{V_m}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Таким образом, влияние каждого фактора в зависимости от его значения количественно выражается относительной величиной, находящейся в диапазоне от 0 до 1, что создает принципиальную возможность учета одновременного влияния множества факторов независимо от их физической и технической природы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТНОСТИ РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ И ДАННЫХ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПАРКА МАШИН

Постановка задачи определения приоритетности ремонтного обслуживания для повышения надежности парка экскаваторов осуществляется следующим образом. Для парка, включающего в себя P машин, рассматривается R факторов, влияющих на их надежность. Экспертные знания о влиянии этих факторов на надежность формализованы в виде табл. 2. По результатам оперативного мониторинга условий работы каждой p -й машины ($p = 1, \dots, P$) определяются качественные значения Φ_{pr} ($r = 1, \dots, R$) каждого влияющего фактора. Они являются «точками входа» в табл. 2 для r -го фактора. Это дает возможность для каждой p -й машины определить коэффициент влияния каждого r -го фактора K_{pr} .

Далее для каждой машины осуществляется суммирование коэффициентов количественного влияния всех факторов и определение интегрального коэффициента влияния:

$$K_p = \sum_{r=1}^R K_{pr}, \quad p = 1, \dots, P.$$

Ранжирование всех машин парка по убыванию величины интегрального коэффициента влияния K_p позволяет упорядочить их по степени накопленного

отрицательного влияния эксплуатационных факторов на надежность. Степень можно считать соответствующей опасности возникновения неработоспособного состояния. Это является основанием для того, чтобы рассматривать машины с большими значениями интегрального коэффициента влияния в качестве приоритетных для плановых ремонтных воздействий. В соответствии с данными приоритетами осуществляется распределение ресурсов ремонтных подразделений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надежность парка карьерных экскаваторов в условиях реального горного производства – результат влияния и взаимодействия многих факторов различной природы, формализация которых сталкивается со значительными трудностями. В связи с этим целесообразно все рассматриваемые факторы считать качественными и выполнять их квантификацию с единых методических позиций для обеспечения возможности учета их совместного влияния.

Предложен оригинальный вариант квантификации качественных факторов, влияющих на интенсивность отказов карьерных экскаваторов. Он отличается тем, что количественные оценки влияния значений факторов получаются на основе экспертных знаний и нормируются для приведения к безразмерному коэффициенту влияния в интервале от 0 до 1.

Совместное использование формализованных оценок степени влияния отдельных факторов и их фактических значений позволяет осуществить ранжирование машин в составе парка по степени накопленного отрицательного влияния этих факторов на надежность. Это основа для принятия решения о приоритетности ремонтного обслуживания.

Касательно места полученных результатов в системе научного знания следует сказать следующее. Определение приоритетности ремонтного обслуживания парка экскаваторов является частным случаем задачи оптимального распределения ресурсов. Выбор наилучшего (с точки зрения надежности парка машин) варианта использования ограниченных материальных, финансовых, трудовых, временных ресурсов ремонтных подразделений осуществляется на основе формализации экспертных знаний о закономерностях отказов и данных оперативного мониторинга условий эксплуатации каждой машины. Относительно обеспечиваемого таким образом уровня готовности парка оборудования можно говорить, что он количественно не определяем, но максимально возможен при имеющихся ресурсных ограничениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берман А.Ф., Николайчук О.А. Модели, знания и опыт для управления техногенной безопасностью // *Проблемы управления*. 2010. № 2. С. 53–60.
2. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов [и др.]. М.: Финансовый издательский дом «Деловой экспресс». 2002. 368 с.
3. Кравченко А.И. Квантификация и квантофрения: углубление познания или эскалация ошибок? // *Социология*. 2018. № 4. С. 23–38.
4. Ямаева Э.Г., Фомина Е.Е. Разработка балльной оценки факторов влияния на безопасную эксплуатацию объектов газораспределения на этапе проектирования // *Безопасность жизнедеятельности*. 2016. № 1. С. 18–23.
5. Гусев В.Б. Формализация экспертных данных при анализе сложных объектов с применением балльных оценок // *Управление развитием крупномасштабных систем: материалы 12-й Международной конференции*. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 269–271.

6. Пазойский Ю.О., Емельянова Р.А., Пашинова С.Ю. Балльная оценка: анализ методики // *Мир транспорта*. 2012. № 5. С. 90–95.

7. Ранжирование шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» на основе балльной оценки травмирующих факторов / Е.В. Мазаник [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012. № 2-5. С. 21–26.

8. Дятлов В.В., Киреева А.А., Печерский А.В. Сравнительная балльная оценка надежности документных систем и процессов // *Современные технологии документооборота в бизнесе, производстве и управлении: Сб. науч. статей по материалам XXI Всероссийской научно-практической конференции*. Пенза: ПГУ. 2021. С. 24–30.

9. Коноплев Т.Ф., Кирюхин С.Н. Использование метода экспертных оценок в системе балльного оценивания качества управления энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятий газовой отрасли // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 3. С. 150–160.

10. Похабов Ю.П., Валишевский О.К. Генезис надежности уникальных высокоответственных систем // *Надежность*. 2016. № 3. С. 47–53.

11. Сайтов В.И., Андреева Л.И., Красникова Т.И. Влияние грансостава забоя на количество отказов механизма напора экскаватора циклического действия // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 2. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2012/2/5859.pdf> (дата обращения: 06.06.2023).

12. Влияние взрывной подготовки горных пород на циклическую долговечность экскаваторов / А.Н. Пуятин [и др.] // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. № 1. С. 27–29.

13. Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Влияние срока службы горнотранспортного оборудования карьеров на показатели его надежности // *Развитие технических наук в современном мире: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции*. Воронеж: Инновационный центр образования и науки. 2015. С. 46–48.

14. Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Оценка влияния квалификации машиниста экскаватора на качество управления // *Развитие технических наук в современном мире: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции*. Воронеж: Инновационный центр образования и науки. 2015. С. 52–57.

15. Иванов С.Л. Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭЖГ от условий их функционирования // *Записки Горного института*. 2016. Т. 221. С. 692–700.

16. Мажибрада И. Экспертный анализ степени влияния факторов на возможность появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 6. С. 26–29.

17. Альшанская А.А., Доронин С.В., Тюменцев В.А. Экспертное оценивание факторов повышения надежности механического оборудования карьерных экскаваторов // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023. № 19. С. 155–160.

Для цитирования: Доронин С.В., Альшанская А.А. Обоснование приоритетности ремонтного обслуживания парка экскаваторов на основе экспертных оценок слабоформализуемых закономерностей формирования отказов // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 4 (20). С. 36–45.

JUSTIFICATION OF PRIORITY FOR REPAIR MAINTENANCE OF EXCAVATOR FLEET ON THE BASIS OF EXPERT EVALUATIONS OF WEAKLY FORMALIZABLE REGULARITIES OF FORMATION OF FAILURES

S.V. DORONIN, Cand. Sc., A.A. ALSHANSKAYA, Graduate

Siberian Federal University,
95, Krasnoyarsk Worker Ave., 660025, Krasnoyarsk, Russian Federation,
e-mail: alshanskaya_anna@inbox.ru

There is a substantiation of priority of repair service of excavator fleet at mining enterprises on the basis of estimation of influence of a large number of factors of different nature on the reliability of machines. To formalise the regularities of failure formation under the influence of qualitatively described operational factors, expert knowledge is obtained by questioning specialists of mining enterprises. On the basis of monitoring of values of operational factors the formalised estimation of integral coefficient of their influence on reliability is carried out. The ranking of the machine park according to the values of the integral coefficient of influence is proposed.

Keywords: excavator fleet, reliability, expert assessments, repair impacts.

Поступила в редакцию/received: 06.06.2023; после рецензирования/revised: 14.06.2023;
принята/accepted: 22.06.2023

УДК 622.23.05:622.7

РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ФРЕЗЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ТОРФОМ

К.В. ФОМИН, д-р техн. наук

Тверской государственной технической университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: fomin_tver@mail.ru

© Фомин К.В., 2023

Получены аналитические зависимости для расчета спектральных плотностей составляющих результирующей силы резания на исполнительном органе фрезерующего агрегата с учетом его конструктивных параметров, режимов эксплуатации и вероятностных характеристик физико-механических свойств торфяной залежи. Материалы статьи могут быть использованы при проектировании новых и модернизации уже эксплуатируемых торфяных машин.

Ключевые слова: торфяной фрезерующий агрегат, фреза, режущий элемент, составляющие сил сопротивления, спектральная плотность.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-45-52