

Экспертная оценка влияния стажа работы оператора на риск повреждения оборудования

Expert assessment of the effect of an operator's work experience on the risk of equipment damage

Доронин С.В.¹, Альшанская А.А.^{1*}
Doronin S.V.¹, Alshanskaya A.A.^{1*}

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation.

*alshanskaya_anna@inbox.ru



Доронин С.В.



Альшанская А.А.

Резюме. Цель. Целью является разработка и практическая апробация методики количественной оценки риска повреждения оборудования вследствие ошибок оператора, частота которых обусловлена стажем его работы. **Методы.** Используются прикладные методы социологии (анкетирование, экспертная оценка) и анализа рисков для получения количественных зависимостей риска повреждения от стажа работы оператора. Использование этих методов предполагает систематизацию возможных ошибок оператора в виде нарушений правил технической эксплуатации оборудования, экспертную оценку частоты этих нарушений в зависимости от стажа оператора. В результате декомпозиции оборудования определяется множество составных частей, для которых получают экспертные оценки опасности повреждений для систематизированных нарушений правил технической эксплуатации. В конечном итоге риск оценивается как произведение частоты ошибок оператора (систематизированных нарушений правил) на опасность повреждения составных частей оборудования. **Результаты.** Методика апробирована на примере сбора экспертной информации и количественной оценки риска повреждения составных частей силовых конструкций рабочего оборудования карьерных экскаваторов при нарушениях машинистом правил технической эксплуатации. **Выводы.** Предложено использование экспертных оценок влияния опыта работы оператора на риск повреждения оборудования для решения ряда прикладных задач: обоснования периодичности и объема плановой и неплановой технической диагностики и ремонта, установления ошибок оператора, которые в первую очередь должны быть исключены за счет повышения качества профессиональной подготовки.

Abstract. Aim. The paper aims to develop and test a methodology for quantifying the risk of equipment damage due to operator errors whose frequency depends on their work experience. **Methods.** The authors use applied methods of sociology (questionnaires, expert assessment) and risk analysis to obtain quantitative dependences of the risk of damage on the work experience. The above methods involve classifying the possible operator errors in the form of equipment operation violations, an expert assessment of the frequency of such violations depending on the operator's work experience. By decomposing the equipment we define a set of components, for which expert assessments are obtained of the risk of damage for classified operation violations. Ultimately, the risk is assessed as the product of the frequency of operator errors (classified violations of the rules) and the probability of damage to the equipment components. **Results.** The method was tested by collecting expert information and quantifying the risk of damage to the components of the power structures of working equipment of mining excavators in case of violations by the operator of the rules of operation. **Conclusions.** It is proposed to use expert assessments of the effect of an operator's work experience on the risk of equipment damage to solve a number of applied problems, i.e., substantiation of the frequency and scope of scheduled and emergency diagnostics and maintenance operations, identification of the operator errors to be – above all else – eliminated by improving the quality of professional training.

Ключевые слова: экспертные оценки, ошибки оператора, риск повреждения
Keywords: expert assessment, operator errors, risk of damage

Для цитирования: Доронин С.В., Альшанская А.А. Экспертная оценка влияния стажа работы оператора на риск повреждения оборудования // Надежность. 2025. №2. С. 25-32.
<https://doi.org/10.21683/1729-2646-2025-25-2-25-32>

For citation: Doronin S.V., Alshanskaya A.A. Expert assessment of the effect of an operator's work experience on the risk of equipment damage. *Dependability* 2025;2: 25-32. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2025-25-2-25-32>

Поступила: 08.06.2024 / **После доработки:** 25.12.2024 / **К печати:** 09.06.2025
Received on: 08.06.2024 / **Revised on:** 25.12.2024 / **For printing:** 09.06.2025

Введение

Известна роль оператора в формировании надежности управляемых человеком технических систем [1]. По данным разных источников, учитывающих специфику отраслей и типов систем, отказы, обусловленные ошибками человека-оператора, составляют от 30 до 94 % всех отказов [1–5]. Анализ причин и условий возникновения этих ошибок затруднен вследствие весьма сложной структуры человеческого фактора, подверженного влиянию явлений, процессов и событий разной природы [1, 2, 5–7]. Большим разнообразием отличается также степень влияния ошибок оператора на работу технической системы – это касается как характера нарушений работоспособности, так и их отражения в изменении количественных характеристик надежности [4, 8]. Формализация анализа количественного влияния ошибок оператора на тяжесть их последствий значительно осложняется разнообразием проявлений, возможностью в некоторых случаях только качественного описания как ошибок, так и последствий. С позиций системного анализа исследование взаимосвязи ошибок оператора и надежности технической системы представляет собой слабоструктурированную задачу. В связи с этим обоснование универсального подхода представляется малопродуктивным для практических целей. По-видимому, целесообразны разработка и апробация частных методик формализации проблемы количественного анализа влияния ошибок человека-оператора на надежность технических систем. Представляется целесообразным выстраивать такие методики на основании экспертных знаний в терминах риска, учитывающего опасность возникновения ошибок оператора. Они могут рассматриваться в качестве вклада в решение проблемы «человеческого фактора» в надежности – по мнению проф. И.А. Ушакова [9] – одной из проблем, ожидающих решения.

Концепция экспертной оценки риска повреждения оборудования

Основным содержанием понятия «риск» являются вероятностные характеристики нежелательных событий, процессов, явлений [10, 11]. В качестве универсальной общепринятой меры риска рассматривается произведение вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий. Полагаем, что вероятность этих событий зависит от инициирующего их оператора, а последствия определяются преимущественно свойствами технической системы.

При разработке варианта одной из возможных част-

ных методик формализации влияния ошибок оператора на надежность оборудования исходили из следующих концептуальных положений.

Рассматриваемые технические системы ограничиваются отдельным классом (типом) технологического оборудования, ошибки оператора которого приводят к повреждениям некоторых конструктивных элементов (подсистем, составных частей) этого оборудования.

Последствия ошибок оператора выражаются в изменении состояния оборудования и безотносительно к классу технической системы в общем виде могут соответствовать состояниям, принятым в теории надежности: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, предельное. Поскольку в сложных системах возможно множество неработоспособных состояний, и их дифференциация необходима для обоснования решений по восстановлению работоспособности, целесообразна систематизация и конкретизация этих состояний и соответствующих им повреждений.

Ошибки оператора заключаются в нарушении правил технической эксплуатации (ПТЭ) оборудования. Предполагается, что эти нарушения не обуславливают друг друга, т.е. являются независимыми событиями. Это предположение вытекает из логики создания ПТЭ, каждое положение которых обычно сформулировано как самостоятельное требование к отдельным аспектам процесса эксплуатации. Проанализированные ПТЭ некоторых классов технических систем (в частности, технологического оборудования горнодобывающих предприятий открытого способа разработки) подтверждают это предположение. Это существенно уменьшает потенциальный перечень рассматриваемых ошибок и облегчает их формализацию: ошибкой считаются только действия, явно противоречащие тому или иному требованию ПТЭ. Тогда систематизация возможных ошибок оператора заключается в формировании перечня нарушений ПТЭ оборудования.

Вероятность ошибок оператора (нарушений ПТЭ) является производной всего комплекса его психо-физиологических характеристик. Достоверное определение как перечня этих характеристик, так и их количественных значений является чрезвычайно сложной проблемой. Эту вероятность целесообразно оценивать экспертными методами, ориентируясь на некоторую качественную шкалу оценки вероятности. Примером такой шкалы может служить следующая градация качественных значений вероятности: почти наверняка; высоковероятно; вероятно; маловероятно; почти наверняка нет. Более детальная градация, сопровождаемая количественными значениями вероятности, предложена в [12]: шкала содержит 19 позиций, начиная от *certain* (вероятность 1)

и заканчивая *impossible* (вероятность 0) с дискретным шагом значения вероятности 0,05. Однако такая детальная градация требует от эксперта способности различать вероятности событий, отличающиеся на 5%, как и вообще навыков вероятностного мышления. Во многих случаях экспертам, работающим в реальном секторе экономики, целесообразно использовать частотную трактовку вероятности нежелательных событий, например: почти наверняка – очень часто; высоковероятно – часто; вероятно – умеренно часто; маловероятно – редко; почти наверняка нет – крайне редко.

Принято упрощающее допущение: частота ошибок оператора обусловлена (скорее всего, нелинейно) стажем его работы с рассматриваемым оборудованием. Поскольку стаж оператора определяется достоверно, допущение связи стажа и частоты ошибок значительно облегчает получение экспертных оценок этой частоты.

При получении экспертных оценок в каждом конкретном случае привлекаются специалисты высокой квалификации в области эксплуатации конкретного класса оборудования, входящие в достаточно узкую профессиональную группу. Это способствует высокой однородности и воспроизводимости их мнений.

Таким образом, в качестве интегральной характеристики тяжести ошибок оператора рассматривается риск повреждения оборудования, оцениваемый как произведение экспертных оценок частоты нарушений ПТЭ на степень повреждения оборудования, что не противоречит общепринятому пониманию риска. В этом случае неблагоприятным событием является нарушение ПТЭ вследствие ошибки оператора, аналогом вероятности служит экспертная оценка его частоты, а степень повреждения оборудования рассматривается в качестве последствий.

Методика оценки риска повреждения оборудования в связи со стажем оператора

Для количественного анализа риска повреждения оборудования в связи с ошибками оператора необходимо получить экспертные оценки вероятности ошибок и тяжести их последствий в форме, допускающей количественную интерпретацию. Это предполагает использование процедуры приписывания количественной меры качественным понятиям (квантификации). Такая процедура должна быть максимально прозрачной, понятной и обоснованной, чтобы избежать превращения в свою противоположность («квантофрению») [13]. Рассмотрим примеры квантификации качественных величин применительно к задачам надежности и безопасности.

Оценка критичности отказов осуществляется с учетом трех характеристик: тяжести последствий отказа единицы оборудования, вероятности отказа этого оборудования и вероятности необнаружения этого отказа до проявления его последствий. Первая характеристика по

своей природе качественная, остальные – количественные, но получаемые методом экспертных оценок в качественной форме. Для квантификации всем трем величинам ставятся в соответствие целочисленные шкалы в интервале от 1 до 10 со следующими значениями крайних значений [14]. Ранг тяжести последствий изменяется от 1 (агрегат полностью работоспособен, но его целостность, шумность и вибрация не соответствуют требованиям, и это замечают менее 25% эксплуатационного персонала) до 10 (отказ создает угрозу здоровью и жизни людей, причинения существенного вреда окружающей среде). Ранг вероятности отказа равен 1 для «невероятного» отказа (один раз в 1001 сутки и реже) и 10 для частого отказа (один раз в сутки и чаще). Ранг вероятности необнаружения отказа составляет 1, если автоматика предотвращает причины всех потенциальных отказов, и 10, если контроль не предусмотрен, не производится или не позволяет обнаружить отказ, результаты контроля не регистрируются и не анализируются.

Аналогичные характеристики используются в [15] для балльной оценки травмирующих факторов: тяжесть последствий от возникновения опасности, вероятность возникновения опасности, относительная частота обнаружения опасности. Каждая характеристика оценивается по относительной шкале от 1 до 10. Так, последствие опасности оценивается в 1 в при возможности боли, но невозможности повреждений и ухудшения состояния здоровья; 10 – при групповом смертельном случае со смертельным исходом. Относительная частота обнаружения оценивается по обратной 10-балльной шкале – чем проще своевременно обнаружить и избежать последствий, тем меньше оценка.

При категорировании объектов по уязвимости с помощью выполняемых экспертами парных сравнений и анализе иерархий шкала квантификации смысла экспертных оценок содержит значения от 1 (равная важность) до 9 (очень сильное превосходство одного над другим) [16].

Лингвистические оценки силы влияния друг на друга концептов в когнитивных картах анализа надежности квантифицируются с помощью нецелочисленной шкалы в интервале от -1 до 1: -1 – отрицательное максимальное, -0,75 – отрицательное выше среднего, ..., 0,75 – положительное выше среднего, 1 – положительное максимальное влияние [17].

В [18] предложены балльно-факторные функции при анализе безопасности эксплуатации подземного газопровода. Так в общем случае глубине прокладки стального газопровода более 0,8 м соответствует балл 0, равной 0,8 м – 2, менее 0,8 м – 10; на пахотных и орошаемых землях глубине более 1,0 м приписывается балл 3, равной 1,0 м – 5, менее 1,0 м – 10. Аналогичные распределения приведены и для других факторов. Здесь используются шкалы с непостоянным шагом и не интуитивно ожидаемыми крайними значениями.

Таким образом, встречаются целочисленные и нецелочисленные шкалы квантификации с постоянным и

произвольным шагом дискретизации, положительными и отрицательными значениями на шкале, «круглыми» и «некруглыми» границами интервалов. Практически всегда эти шкалы постулируются авторами без логического обоснования и объяснения. Очевидно, квантификация по своей природе оказывается субъективной, как и сами экспертные оценки. Поэтому мы ориентируемся на наиболее простой и «прозрачный» вариант с целочисленными шкалами, положительными значениями рангов, минимальным числом постоянных шагов дискретизации. Для более сложных вариантов просто не находится логических оснований.

На основании предложенной концепции сформулирована следующая методика экспертной оценки влияния стажа работы оператора на риск повреждения технологического оборудования, представляющая собой один из вариантов формализации влияния ошибок оператора на его надежность.

Для количественной оценки частоты нарушений ПТЭ вводится пятибалльная шкала, определяемая следующим образом: 1 – крайне редко; 2 – редко; 3 – умеренно часто; 4 – часто; 5 – очень часто. Увеличение балла (то есть, «чаще») соответствует росту риска повреждения оборудования. Очевидно, возможны и другие варианты вербальной характеристики частоты.

Стаж работы оператора с рассматриваемым оборудованием является непрерывной величиной на шкале времени, которую предлагается разбить на m интервалов в предположении качественного изменения опыта работы оператора при переходе из одного интервала в другой. Очевидно, это условность, необходимая для ограничения количества альтернативных вариантов экспертных оценок влияния стажа на частоту нарушений ПТЭ.

Далее осуществляется сбор экспертной информации (анкетирование и статистическая обработка результатов) о частоте систематизированных нарушений ПТЭ в связи со стажем оператора. Возможная форма вопроса анкеты: «Оцените частоту конкретного нарушения ПТЭ в зависимости от стажа оператора». Ответы экспертов получают в виде процентного распределения частот нарушения ПТЭ для каждого интервала стажа работы E_{ij} , $i=1, \dots, m$; $j=1, \dots, 5$, где i – порядковый номер интервала стажа, j – балл качественной оценки частоты нарушения ПТЭ.

Суммарная балльная оценка влияния стажа для его i -го интервала определяется суммой произведений процентной доли качественной характеристики E на соответствующий балл b по формуле

$$B_{fi} = \sum_{j=1}^n E_{i,j} b_j, \quad i = 1, \dots, m. \quad (1)$$

Исходя из предположения (подтверждающегося данными опроса экспертов), что наименьшему стажу соответствует максимальная частота нарушений ПТЭ, снижающаяся с накоплением опыта, относительный коэффициент количественного влияния равен

$$K_i = \frac{B_{fi}}{B_{f1}}, \quad i = 1, \dots, m. \quad (2)$$

Таким образом, влияние стажа на частоту нарушения ПТЭ выражается относительной безразмерной величиной в интервале от 0 до 1. В этом случае минимальному стажу соответствует величина относительного коэффициента $K_1 = 1$, а с увеличением стажа значение коэффициента падает.

Для каждого систематизированного нарушения ПТЭ результаты анкетирования и соответствующей статистической обработки организуются в виде сводной таблицы (табл. 1).

Далее осуществляется декомпозиция оборудования – выделение n составных частей (подсистем, узлов, агрегатов...), для которых предполагается оценивать опасность (степень) повреждений при нарушении ПТЭ.

Для количественной оценки опасности повреждения оборудования вследствие ошибки оператора также вводится пятибалльная шкала:

- 0 – опасность отсутствует (повреждений нет);
- 1 – незначительная опасность (возможны незначительные, визуально обнаруживаемые повреждения, не снижающие работоспособность во всем спектре эксплуатационных нагрузок);
- 2 – умеренная опасность (повреждения, не снижающие работоспособность при номинальных нагрузках);
- 3 – высокая опасность (серьезные повреждения, ограниченная работоспособность при пониженных нагрузках);
- 4 – неприемлемо высокая опасность (разрушения, неработоспособное состояние).

Табл. 1. Формализация и квантификация экспертных оценок влияния стажа на частоту нарушения ПТЭ

Качественная экспертная оценка частоты нарушения ПТЭ	Балльная оценка b	Значение фактора E , %, при стаже						
		E_1	E_2	...	E_i	...	E_{m-1}	E_m
Крайне редко	1	$E_{1,1}$	$E_{2,1}$	...	$E_{i,1}$	...	$E_{m-1,1}$	$E_{m,1}$
Редко	2	$E_{1,2}$	$E_{2,2}$	...	$E_{i,2}$	...	$E_{m-1,2}$	$E_{m,2}$
Умеренно часто	3	$E_{1,3}$	$E_{2,3}$	...	$E_{i,3}$	...	$E_{m-1,3}$	$E_{m,3}$
Часто	4	$E_{1,4}$	$E_{2,4}$	...	$E_{i,4}$	...	$E_{m-1,4}$	$E_{m,4}$
Очень часто	5	$E_{1,5}$	$E_{2,5}$	...	$E_{i,5}$	...	$E_{m-1,5}$	$E_{m,5}$
Балльная оценка влияния B_{fi}		B_{f1}	B_{f2}	...	B_{fi}	...	B_{fm-1}	B_{fm}
Коэффициент количественного влияния K		K_1	K_2	...	K_i	...	K_{m-1}	K_m

Как и в случае оценки частоты, увеличение балла (то есть, «опаснее») соответствует росту риска повреждения оборудования.

Далее осуществляется опрос экспертов об опасности повреждения декомпозированных составных частей (СЧ) оборудования при всех систематизированных нарушениях ПТЭ. Возможная форма вопроса анкеты: «Оцените опасность повреждения конкретной составной части оборудования вследствие конкретного нарушения ПТЭ». Ответы экспертов получают в виде процентного распределения мнений относительно опасности повреждения СЧ D_l , $l=0, \dots, 4$, где l – балльная оценка опасности повреждения. Безразмерная интегральная оценка опасности повреждения каждой СЧ оборудования при каждом нарушении ПТЭ определяется суммированием произведений экспертной оценки процентного распределения степени опасности повреждения на соответствующие балльные оценки

$$B_d = \sum_{l=1}^4 l D_l. \quad (3)$$

Суммирование выполняется начиная с $l=1$, поскольку при $l=0$ повреждения отсутствуют.

Для каждого систематизированного нарушения ПТЭ сводная таблица результатов оценки опасности повреждений СЧ выглядит следующим образом (табл. 2).

Табл. 2. Формализация и квантификация экспертных оценок опасности повреждений при нарушении ПТЭ

Составная часть	Значение фактора D , %					Интегральная оценка опасности
	$l=0$	$l=1$	$l=2$	$l=3$	$l=4$	
СЧ ₁	$D_{0,1}$	$D_{1,1}$	$D_{2,1}$	$D_{3,1}$	$D_{4,1}$	B_{d1}
СЧ ₂	$D_{0,2}$	$D_{1,2}$	$D_{2,2}$	$D_{3,2}$	$D_{4,2}$	B_{d2}
...	...	...	...	...	...	...
СЧ _n	$D_{0,n}$	$D_{1,n}$	$D_{2,n}$	$D_{3,n}$	$D_{4,n}$	B_{dn}

В конечном итоге для каждой СЧ рассматриваемого оборудования определяется риск ее повреждения при всех нарушениях ПТЭ в зависимости от опыта работы оператора как

$$R = K_i B_d, \quad i = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Экспертная оценка риска повреждения силовых конструкций рабочего оборудования карьерного экскаватора в связи со стажем работы машиниста

Апробация методики выполнена на примере экспертной оценки влияния стажа работы машиниста на риск повреждения силовых конструкций карьерных гусеничных экскаваторов ЭКГ. Экспертные мнения

получены путем анкетирования нескольких десятков специалистов угольных разрезов и рудных карьеров Сибири и Дальнего Востока, входящих в узкую профессиональную группу эксплуатационников карьерных экскаваторов [19]. При определении числа анketируемых ориентировались на следующие оценки [20]: эмпирическим путем установлено, что эксперты в количестве 13–15 человек могут рассматриваться как достаточно представительная группа для проведения экспертизы сложных технических систем. Значительное увеличение числа экспертов потенциально опасно снижением уровня их компетентности (число экспертов в достаточно узкой профессиональной группе по умолчанию не может быть очень большим). Число экспертов от 30 до 40 человек нам представляется разумным компромиссом между точностью и стоимостью получаемых оценок.

Перечень нарушений ПТЭ сформулирован на основании технической документации (преимущественно инструкций по эксплуатации). В качестве основных нарушений ПТЭ рассматриваются:

- удар ковшом о забой в начале цикла экскавации;
- удар ковшом о транспортное средство при разгрузке ковша;
- удар ковшом по гусеницам;
- удар рукоятью по стреле;
- удар упорами рукояти об упоры седлового подшипника;
- удар обоймой блока ковша по головным блокам стрелы;
- допущение режима стопорения ковша в забое;
- совмещение работы напорного и поворотного механизмов;
- совмещение работы подъемного и поворотного механизмов;
- работа при наклоне площадки забоя свыше 5°;
- глубокое врезание ковша в грунт;
- копанье тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти.

Эти нарушения являются независимыми друг от друга событиями: каждое из них является следствием самостоятельной, отдельной ошибки машиниста экскаватора.

Далее рассмотрим применение методики на примере первого нарушения из представленного списка.

Рассматривается $m = 5$ интервалов стажа: до одного года, от одного до трех лет, от трех до пяти лет, от пяти до десяти лет, свыше десяти лет. Результаты ответов анкетированных на вопрос «Оцените частоту удара ковшом о забой в начале цикла экскавации в зависимости от стажа машиниста экскаватора» представлены в табл. 3. В соответствии с (1) балльные оценки влияния для рассматриваемых интервалов стажа определены, например, для первого интервала стажа (до одного года) следующим образом: $B_{j1} = 4 \cdot 1 + 15 \cdot 2 + 22 \cdot 3 + 26 \cdot 4 + 33 \cdot 5 = 369$. Соответственно коэффициент количественного влияния (2) для этого подинтервала равен $K_1 = 369/369 = 1,00$. Результаты расчета балльных оценок и коэффициентов влияния для всех подинтервалов стажа содержатся в табл. 3.

Табл. 3. Экспертная оценка частоты удара ковшом о забой в связи со стажем машиниста

Качественная экспертная оценка частоты удара ковшом о забой	Балльная оценка b	Частота нарушения ПТЭ, %, при стаже машиниста, лет				
		< 1	1–3	3–5	5–10	> 10
Крайне редко	1	4	15	56	63	78
Редко	2	15	22	22	33	22
Умеренно часто	3	22	37	18	4	
Часто	4	26	22	4		
Очень часто	5	33	4			
Балльная оценка влияния B_f		369	278	170	141	122
Коэффициент количественного влияния K		1,00	0,75	0,46	0,38	0,33

В результате декомпозиции выделены шесть СЧ силовых конструкций рабочего оборудования: ковш, рукоять, стрела, двуногая стойка, седловой подшипник, подкосы. Результаты ответов анкетизируемых на вопрос «Оцените опасность повреждения составных частей оборудования вследствие удара ковшом о забой в начале цикла экскавации» содержатся в табл. 4. Интегральная оценка опасности повреждения (3) для экспертных мнений, выраженных в долях единицы, определяется, например, для первой СЧ (ковш) следующим образом: $B_{d1} = 0,21 \cdot 1 + 0,24 \cdot 2 + 0,45 \cdot 3 + 0 \cdot 4 = 2,04$. Результаты вычисления интегральной оценки опасности для всех СЧ содержатся в табл. 4.

Оценка риска осуществляется по формуле (4) с учетом данных табл. 3 и 4. Так, например, риск повреждения ковша при работе машиниста со стажем до одного года оценивается как $R = 1,00 \cdot 2,04 = 2,04$, а со стажем от одного до трех лет – $R_1 = 0,75 \cdot 2,04 = 1,53$. Результаты оценки риска повреждения всех составных частей оборудования при рассматриваемом нарушении ПТЭ машинистом экскаватора с разным стажем работы приведены в табл. 5.

Аналогичные оценки получены для всех систематизированных нарушений ПТЭ.

Заключение

Получаемые таким образом количественные оценки риска применимы для сравнительного анализа повреждаемости оборудования при решении следующих практических задач:

- для составных частей оборудования с наибольшими рисками повреждения осуществляется повышение периодичности и объема неразрушающего контроля, диагностики и плановых ремонтов;
- в случае установления факта конкретного нарушения ПТЭ устанавливаются приоритеты непланового визуального и измерительного контроля;
- организовывается повышение качества профессиональной подготовки операторов в части отработки приемов работы, снижающих (в пределе – исключаящих) условия и причины возникновения нарушений ПТЭ, характеризующихся наибольшими рисками повреждения оборудования.

Благодарности

Авторы выражают признательность д.т.н. А.В. Бочкову за ценные советы и замечания по существу проблемы

Табл. 4. Экспертная оценка опасности повреждения составных частей оборудования при ударе ковшом о забой

Составная часть	Распределение D , %, опасности повреждения l					Интегральная оценка опасности B_d
	0	1	2	3	4	
Ковш	10	21	24	45	0	2,04
Рукоять	7	24	21	45	3	2,13
Стрела	10	28	34	28	0	1,80
Двуногая стойка	21	34	21	24	0	1,48
Седловой подшипник	7	24	41	21	7	1,97
Подкосы	17	42	24	17	0	1,41

Табл. 5. Оценка риска повреждения составных частей силовых конструкций рабочего оборудования экскаваторов

Составная часть	Риск повреждения R в связи со стажем машиниста				
	< 1	1–3	3–5	5–10	> 10
Ковш	2,04	1,53	0,94	0,78	0,67
Рукоять	2,13	1,60	0,98	0,81	0,70
Стрела	1,80	1,35	0,83	0,68	0,59
Двуногая стойка	1,48	1,11	0,68	0,56	0,49
Седловой подшипник	1,97	1,48	0,91	0,75	0,65
Подкосы	1,41	1,06	0,65	0,54	0,47

экспертной оценки риска повреждения оборудования при обсуждении настоящей статьи.

Библиографический список

1. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. М.: ООО «Журнал Надежность», 2012. 296 с.
2. Артемов А.Д., Лысаков Н.Д., Лысакова Е.Н. Человеческий фактор в эксплуатации авиационной техники. М.: МАИ, 2018. 156 с.
3. Ганнесен В.В., Соловьева Е.Е. Человеческий фактор как одна из основных причин аварийности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61. № 3. С. 64-69.
4. Николайкин Н.И., Шаров В.Д., Андрусов В.Э. Эволюция учета влияния ошибок человека на особенности и результаты коллективной работы // Crede experto: транспорт, общество, образование, язык. 2019. № 1. С. 8-40.
5. Котик М.А. О преднамеренных и непреднамеренных ошибках человека-оператора // Психологический журнал. 1993. Т. 14. № 5. С. 34-41.
6. Ллойд Д., Липов М. Надежность. Организация исследования, методы, математический аппарат. М.: Советское радио, 1964. 687 с.
7. Скоробогатов С.М. Место человеческого фактора в классификации техногенных катастроф железобетонных сооружений // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2008. № 1. С. 91-94.
8. Репина И.Б. Учет влияния человеческого фактора на организационно-технологическую надежность производственных процессов инфраструктуры железных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / СибГУПС; науч. рук. В.Д. Верескун. Новосибирск, 2015. 211 с.
9. Ушаков И. Надежность: прошлое, настоящее, будущее // Reliability: Theory & Applications. 2006. No. 1. Pp. 17-27.
10. Соколов Ю.И. Проблемы рисков современного общества // Проблемы анализа рисков. 2016. Т. 13. № 2. С. 6-23.
11. Бочков А.В. Проблемы оценки опасностей и управления риском объектов критически важной инфраструктуры Группы «Газпром»: аналитический обзор // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018. № 2(34). С. 51-87.
12. Sileo D., Moens M.-F. Probing neural language models for understanding of words of estimative probability / Proceedings of the The 12th Joint Conference on Lexical and Computational Semantics (*SEM 2023). Pp. 469-476.
13. Кравченко А.И. Квантификация и квантофрения: углубление познания или эскалация ошибок // Социология. 2018. № 4. С. 23-38.
14. Антоненко И.Н. Методика приоритизации объектов обслуживания на основе оценки критичности отказов // В мире НК. 2018. Т. 21, № 3. С. 68-72.

15. Мазаник Е.В., Гендлер С.Г., Истомин Р.С. и др. Ранжирование шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» на основе балльной оценки травмирующих факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № S2-5. С. 21-26.

16. Бочков А. Категорирование критически важных объектов по уязвимости к возможным противоправным действиям. Экспертный подход // Безопасность. Достоверность. Информация. 2009. № 1(82). С. 22-24.

17. Ротштейн А.Н. Нечеткие когнитивные карты в анализе надежности // Надежность. 2019. № 4. С. 24-31.

18. 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.

19. 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.

20. Крянев А.В., Семенов С.С. К вопросу о качестве и надежности экспертных оценок при определении технического уровня сложных систем // Надежность. 2013. № 4. С. 90-109.

References

1. Shubinsky I.B. [Functional dependability of information systems. Analysis methods]. Moscow: Dependability Journal; 2012. (in Russ.)
2. Artiymov A.D., Lysakov N.D., Lysakova E.N. [Human factor in the operation of aviation equipment]. Moscow: MAI; 2018. (in Russ.)
3. Gannesen V.V., Soloveva E.E. The human factor as one of the main causes of accidents. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University* 2022;61(3):64-69. (in Russ.)
4. Nikolajkin N.I., Sharov V.D., Andrusov V.E. Evolution of account for human errors influence on collective work features and results. *International informational and analytical journal «Crede Experto: transport, society, education, language»* 2019;1:8-40. (in Russ.)
5. Kotik M. On undeliberate and deliberate errors of man-operator. *Psychological Journal* 1993;14(5):34-41. (in Russ.)
6. Lloyd D., Lipov M. Reliability: Management, Methods and Mathematics. Moscow: Sovetskoye radio; 1964.
7. Skorobogatov S.M. Place of the human factor in classification of the technologic accidents of ferro-concrete construction. *Akademicheskij vestnik UralNIIProjekt RAASN* 2008;1:91-94. (in Russ.)
8. Repina I.B. [Accounting for the effect of the human factor on the organisational and process-related reliability of railway infrastructure processes: a Candidate of Engineering dissertation: 02.05.12. SibGUPS; scientific supervisor V.D. Vereskun]. Novosibirsk; 2015. (in Russ.)

9. Ushakov I. [Reliability: past, present, future]. *Reliability: Theory & Applications* 2006;1:17-25. (in Russ.)

10. Sokolov Yu.I. Problems of the risks of modern society. *Issues of Risk Analysis* 2016;13(2):6-23. (in Russ.)

11. Bochkov A.V. [Problems of hazard estimation and risk management of critical infrastructure facilities of the Gazprom Group: an analytical review]. *Vesti gazovoy Nauki* 2018;2(34):51-87. (in Russ.)

12. Sileo D., Moens M.-F. Probing neural language models for understanding of words of estimative probability. In: *Proceedings of the The 12th Joint Conference on Lexical and Computational Semantics (*SEM 2023)*. Pp. 469-476.

13. Kravchenko A.I. Quantification and Quantophrenia: from the real world into the scientific world and vice versa. *Sociology* 2018;4:23-38. (in Russ.)

14. Antonenko I.N. Risk based prioritization technique of maintenance objects. *NDT World* 2018;21(3):68-72. (in Russ.)

15. Mazanik E.B., Gendler S.G., Istomin R.S., et al. Ranking the mines of JSC SUEK-Kuzbass based on a point assessment of injury risk factors. *Mining informational and analytical bulletin* 2012;S2-5: 21-26.

16. Bochkov A. [Categorisation of critical facilities in terms of their vulnerability to possible illegal actions. An expert approach]. *Bezopasnost. Dostovernost. Informatsiya* 2009;1(82):22-24. (in Russ.)

17. Rotshtein A.P. Fuzzy cognitive maps in the dependability analysis of systems. *Dependability* 2019;19(4):24-31.

18. Yamaeva E.G., Fomina E.E. Development of Scoring Factors Influencing the Safe Operation of the Gas Distribution in the Design Phase. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti* 2016;1:18-23. (in Russ.)

19. Alshanskaya A.A., Doronin S.V., Tyumencev V.A. Expert evaluation of the factors of increasing the reliability of the mechanical equipment of mining excavators. *Transport, mining and construction engineering: science and production* 2023;19:155-160. (in Russ.)

20. Kryanev A.V., Semenov S.S. On the issue of quality and reliability of expert judgments in determining the engineering level of complex systems. *Dependability* 2013;4:90-109.

Сведения об авторах

Доронин Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы», ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (СФУ), пр-т Красноярский рабочий, д. 95, Красноярск, Российская Федерация, 660025, e-mail: mr.svdoronin@yandex.ru

Альшанская Анна Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Горные машины и комплексы», ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (СФУ), пр-т Красноярский рабочий, д. 95, Красноярск, Российская Федерация, 660025, e-mail: alshanskaya_anna@inbox.ru

About the authors

Sergey V. Doronin, Candidate of Engineering, Senior Lecturer, Department of Mining Machines and Systems, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University (SibFU), 95 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, e-mail: mr.svdoronin@yandex.ru.

Anna A. Alshanskaya, Candidate of Engineering, Senior Teacher, Department of Mining Machines and Systems, Federal State Autonomous Institution of Higher Education Siberian Federal University (SibFU), 95 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, e-mail: alshanskaya_anna@inbox.ru.

Вклад авторов в статью

Доронин С.В. – идея статьи, концепция и некоторые положения методики экспертной оценки риска повреждения оборудования в связи со стажем работы оператора.

Альшанская А.А. – разработка методики экспертной оценки, сбор и обработка экспертной информации, практическое получение количественных оценок риска повреждения оборудования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.