УДК 331.361:[621.879+331.103.1]

КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА КАК ИНСТРУМЕНТ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Абдрахманов А.А., Сафин Г.Г., Габитов И.А., Титанов А.В., Чернухин С.А., Великанов В.С.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, e-mail: georgii_safin@mail.ru

В статье представлен анализ современных подходов к оценке эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов. Установлено, что единообразия в подходах нет, предлагается в развитии дальнейших исследований влияния квалификации машиниста экскаватора использовать математический аппарат нечеткой логики и нечетких множеств. Произведена модификация оригинальной нечеткой модели оценки деятельности машинистов ЭКГ, в которой учтены квалификационные требования к операторской деятельности в показателях ее качества, обеспечивающие оценку функциональной эффективности деятельности по управлению и эксплуатации экскаватора. Результаты данной работы практически внедрены в систему аттестации персонала горных предприятий Южного Урала; на основе полученных данных сформирована матрица состояния подсистемы «машинист-экскаватор».

Ключевые слова: коэффициент, квалификация, экскаватор, машинист, система, модель, нечеткая логика

QUALIFICATION OF THE PERSONNEL AS THE TOOL IN INCREASE OF EFFICIENCY OF OPERATION OF CAREER EXCAVATORS

Abdrahmanov A.A., Safin G.G., Gabitov I.A., Titanov A.V., Chernukhin S.A., Velikanov V.S.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: georgii_safin@mail.ru

The analysis of modern approaches in an assessment of efficiency of operation of career caterpillar excavators is presented in article. It is established that uniformity in approaches isn't present, it is offered in development of further researches about influence of qualification of the excavator operator to use mathematical apparatus of fuzzy logic and indistinct sets. Modification of original indistinct model of an assessment of activity of drivers of an electrocardiogram in which are considered qualification requirements to operator activity in indicators of its quality, providing an assessment of functional efficiency of activities for management and operation of the excavator is made. Results of this work are almost introduced in system of certification of the personnel of the mountain enterprises of South Ural on the basis of the obtained data the matrix of a condition of a subsystem «driver excavator» is created.

Keywords: coefficient, qualification, excavator, driver, system, model, fuzzy logic

Отрадно, что исследования, связанные с квалификацией технологического персонала в горной промышленности, находят свое отражение и в современных научных публикациях (табл. 1).

Если обратиться к истории, то активные работы велись с середины XX века, к наиболее значимым, с точки зрения проработки вопроса, можно отнести: «Повышение производительности одноковшовых экскаваторов» (Домбровский Н.Г., 1951 г.); «Режимы управления экскаваторами СЭ – 3 и ЭКГ – 4» (Панев Б.И., 1966 г.); «Эксплуатационная надежность и техническое обслуживание экскаваторов ЭКГ – 8 и ЭКГ – 8И» (Голубев В.А., Троп А.Е., Карасев Н.М. и др., 1971 г.); «Надежность горного оборудования и эффективность его использования» (Голубев В.А., Троп А.Е., 1974 г.). В работах указывается, что некоторые показатели, влияющие на высокопроизводительную и эффективную работу карьерного экскаватора (ЭКГ), не выделяются, либо их учету не уделяется достаточного внимания. К этим показателям отнесены: несоблюдение правил технической эксплуатации; низкий уровень проектного, конструктивного исполнения и изготовления машин, узлов и деталей; отсутствие запасных частей и их ограниченные поставки; квалификация машинистов экскаваторов и ремонтников и т.д.

Влияние квалификации персонала (машинисты экскаваторов) на качество управления ЭКГ учитывается в расчетных зависимостях при определении производительности ЭКГ (табл. 2).

Коэффициент управления ($k_у$,$k_м$) рекомендуется определять как отношение технической производительности ($П_т$) экскаватора за 1 ч исправной работы к теоретической производительности ($П_0$), либо отношение теоретической продолжительности цикла экскавации ($t_{ц.теор}$) к фактической продолжительности цикла ($t_{ц.факт}$) в заданных условиях эксплуатации:

$$k_у = \frac{П_т}{П_0}, \text{ либо } k_у = \frac{t_{ц.теор}}{t_{ц.факт}}.$$

В отношении влияния уровня квалификации машинистов на эффективность управления и эксплуатации экскаваторов

определенного единообразия в подходах нет, из-за отсутствия стандартизированных показателей и объективных критериев оценки. Как отмечается в ряде работ [9, 11], квалификация оператора – это тот потенциал, который в нем заложен. Основу квалификации составляет техническое образование, а классность – это формально признанный уровень образования, третьим по значимости показателем умения, навыков и опыта является стаж работы, то есть характеристики функционального статуса работника.

Таблица 1

Современные подходы в оценке эффективности управления и эксплуатации карьерных экскаваторов

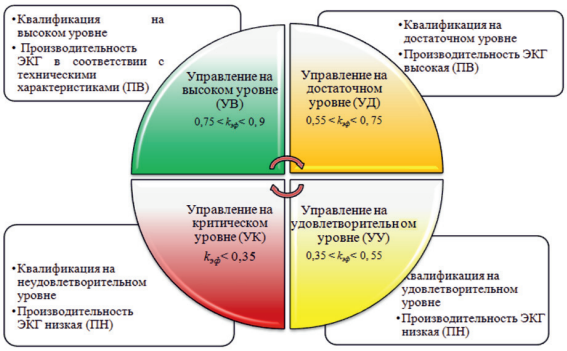
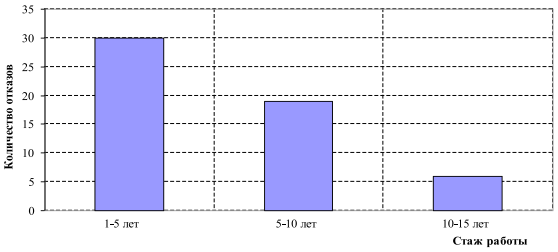
Автор	Научные положения	Результаты	Выводы
Великанов В.С. (2009 г.) [1]	Качественная оценка эффективности управления и эксплуатации ЭКГ характеризуется коэффициентом эффективности деятельности машиниста с учетом других определяющих факторов.	 Классификация системы «человек – экскаватор» по критериям качество управления ЭКГ и его производительность	Обоснован коэффициент эффективности деятельности машиниста, позволяющий оценить степень влияния квалификации машиниста на качество управления и эксплуатации ЭКГ. Разработана классификация подсистемы «человек-экскаватор» по критериям: качество управления ЭКГ и его производительность.
Шарипов Р.Х. (2011 г.) [12]	Основными причинами отказов рукояти экскаваторов с зубчато-реечным напором типа ЭКГ являются: динамические нагрузки, превышающие допустимый уровень; форма конструкции, приводящая к высокой концентрации напряжений; последствия ремонтных воздействий; относительно низкая квалификация машинистов	 Распределение отказов рукояти экскаваторов типа ЭКГ-5А при управлении машинистами с рассматриваемым стажем работы	Установлены законы распределения усилий в подъемных канатах экскаваторов типа ЭКГ-5А при черпании горной массы в зависимости от стажа работы машинистов.
Шибанов Д.А. (2015 г.) [13]	Необходимость повышения эффективности технической эксплуатации ЭКГ, основное направление вектора вмешательства в установившуюся систему организации горных работ должно быть нацелено на квалификацию машинистов экскаваторов, соблюдение режимов эксплуатации, а также создание условий эффективной эксплуатации.	 Факторы, влияющие на работоспособность карьерного экскаватора цикличного действия	Разработан алгоритм комплексной оценки наработки экскаватора за срок службы до капитального ремонта. Установлено, что до 90% влияния на снижение доремонтного ресурса оказывают три фактора: качество подготовки забоя, управление экскаватором и его техническое состояние.

Таблица 2

Зависимости для расчета производительности ЭКГ

Автор	Расчетная зависимость	
Н.Г. Домбровский	$П_э = П_т К_м К_в$	
В.А. Голубев, А.Е. Троп	$П_т = (3600E/T_ц) К_у К_э$	
В.В. Ржевский	$Q_{эф} = (3600E/T_ц)(К_{н.к}/К_{р.к})К_{т.в} К_{пот} К_у К_{тр}$	
Н.В. Мельников	$Q_{к.т.} = (3600E/T_ц)V_к К_и$	Указывается, что к показателям, влияющим на производительность ЭКГ, относится и квалификация машиниста экскаватора, которая включает в себя комплекс навыков и рабочих приемов при экскавации.
Р.Ю. Подэрни	$Q_э = 60(t_р / t_р+t_п) К_в К_{эк} E T_c n_z$	

Примечание. $k_у$, $k_м$ – коэффициент управления экскаватора, т.е. коэффициент, учитывающий опыт и практические навыки машиниста экскаватора. В таблице: $К_в$ – коэффициент использования экскаватора во времени; E, $V_к$ – емкость ковша экскаватора, м^3; $T_ц$ – теоретическая продолжительность цикла экскаватора при угле поворота 90°, сек; $К_э$, $К_{эк}$ – коэффициент экскавации; $К_{пот}$ – коэффициент потерь экскавированной породы; $К_{н.к}$ – коэффициент наполнения ковша; $К_и$ – коэффициент использования емкости ковша; $t_р$ – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места установки; $t_п$ – длительность одной передвижки; T_c – длительность смены, ч; n_z – число разгружаемых в минуту ковшей, мин$^{-1}$.

В настоящее время на карьерах и разрезах РФ происходит постепенное переоснащение парков современными экскаваторами нового поколения, а также зарубежных производителей Hitachi (Япония), Komatsu (Япония), Kobelko (Япония), Caterpillar (США) и др. Поэтому успешное функционирование горного предприятия зависит не только от инновационного потенциала и высокого технического оснащения, но и от квалифицированных кадров.

В связи с этим проблемы стоящие перед исследователями, в полной мере отвечают «вызовам», стоящим перед горнодобывающей отраслью, а именно:

– усиливающаяся зависимость отрасли от импорта машин и оборудования;

– физический и моральный износ основных производственных фондов и, как следствие, неудовлетворительные показатели рентабельности и производительности труда, значительные потери при добыче и переработке полезных ископаемых, высокая энергоемкость горного производства;

– дефицит специалистов новой формации, способных быстро и адекватно осваивать технику и технологии, обеспечивая прирост новых современных профессиональных компетенций, включающих осведомленность о работе с горными машинами и оборудованием, и полное понимание систем горного производства.

Недостаточная проработанность и наметившийся временной «лаг» позволили определить цель данной работы – обобщить и систематизировать современные исследования, связанные с квалификацией технологического персонала горных предприятий и определить пути дальнейших научно-практических разработок.

Современные экскаваторы, эксплуатируемые на открытых горных работах, представляют собой высокопроизводительные крупногабаритные электромеханические системы большой единичной мощности, совершенствование конструкций которых находится в постоянном развитии. В условиях сложных и интенсивных горных работ задачи управления осуществляются только при совместном взаимодействии машиниста и технической части (подсистема «машинист-экскаватор»), то есть ему приходится контролировать средства отображения информации, специальные устройства контроля работы электроприводов и диагностики оборудования – информационно-диагностические системы, воздействовать на ручные и ножные органы управления, визуально контролировать ход работ по экскавации и погрузки горной массы в транспортные средства. Одним из обязательных условий эффективной эксплуатации человеко-машинных систем является высокий уровень подготовки человека, участвующего в работе подсистемы.

Используя методы системного подхода, нами разработана многофакторная модель подсистемы «машинист-экскаватор». В разработке модели учтены основные принципы создания многофакторных моделей, заключающиеся в систематизации факторов и выражении их с помощью математического аппарата, определении характеристик показателей с выделением их весомости, разработка систем связей, обеспечивающих поэлемент-

ное взаимодействие, разработка траектории управления на основе целевой функции:

$$ЭУЭ = f\{K_{техн}, TC_{экс}, K_{эрг}, П_{эф}\},$$

где *ЭУЭ* – обобщенный показатель эффективности управления и эксплуатации подсистемы «машинист-экскаватор», $K_{техн}$ – комплексный показатель технических характеристик экскаватора, $TC_{экс}$ – показатель текущего технического состояния экскаватора, $K_{эрг}$ – обобщенный эргономический показатель, $П_{эф}$ – комплексный показатель эффективности и продуктивности труда машиниста (рис. 1, 2).

Учитывая, что показатели, характеризующие продуктивность труда машиниста и подлежащие экспертному описанию, могут быть отнесены к слабоформализуемым, автором в работах [2, 3, 6, 10] исследована целесообразность применения математического аппарата теории нечётких множеств и нечеткой логики для формализации знаний экспертов (табл. 3). Следует отметить, что разработанные на его основе нечеткие модели имеют следующие особенности: возможность формализовать и преобразовывать количественно нечеткие (качественные) понятия, которыми оперируют эксперты при описании своих представлений о реальной системе, своих пожеланий, рекомендаций, целей управления; гибкость, так как учитывается опыт и интуиция специалиста-эксперта; позволяют увеличить скорость обработки качественной информации при использовании относительно несложных специализированных устройств; используют так называемые, «лингвистические переменные», вместо числовых переменных или в дополнение к ним; простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний.

Моделирование осуществлялось с использованием специализированного программного обеспечения MatLab расширение Fuzzy Logic Toolbox (рис. 2).

Рис. 1. Многофакторная модель подсистемы «машинист-экскаватор»

Таблица 3

Нечеткие модели по оценке эффективности управления ЭКГ

№ п/п	Нечеткая модель	Входные лингвистические переменные	Выходная лингвистическая переменная
1	Оценка профессиональной компетентности машинистов карьерных экскаваторов [6] (рис. 2).	1. Теоретические знания машиниста экскаватора. 2. Практические навыки машиниста экскаватора.	Коэффициент эффективности деятельности машиниста экскаватора.
2	Влияние структуры и режимов управления на показатели эксплуатационной надежности ЭКГ	1. Скорость подъема ковша ЭКГ. 2. Коэффициент управления.	Напряжения в рукояти ЭКГ.

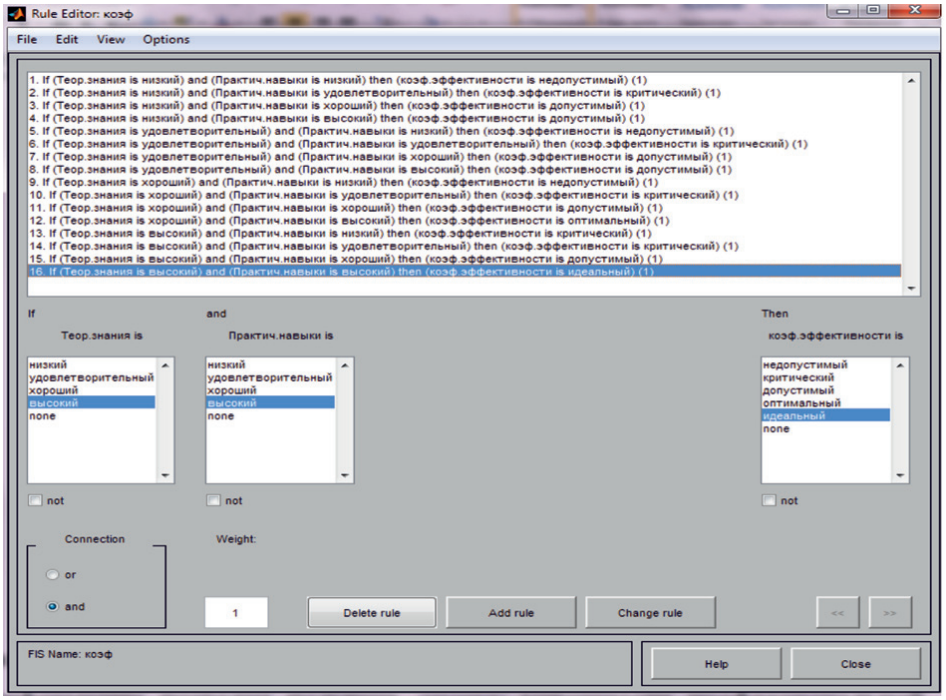


Рис. 2. База логических правил

В среде MatLab расширение Fuzzy Logic Toolbox имеется возможность разработки и корректировки в интерактивном режиме с помощью графических средств редактирования и визуализации всех компонентов нечеткой модели: изменение существующих правил или добавление новых, изменение вида и параметров функций принадлежности и задания коэффициентов определенности правил нечетких продукций [8]. Нами произведена модификация нечеткой модели для оценки профессиональной компетентности машинистов карьерных экскаваторов, то есть введены новые входные лингвистический переменные – «Стаж» и «Коэффициент управления».

Согласно требованию руководства по эксплуатации карьерных экскаваторов большой единичной мощности (более 15 м^3) машинист экскаватора должен иметь опыт работы на подобном оборудовании с вместимостью ковша более 4 м^3 не менее 5 лет [7, 14]. Необходимо учитывать, что квалификация машиниста с течением времени повышается, поэтому считаем обоснованным использование в качестве критерия оценки и стаж машиниста, при этом нормальная «базовая» работа экскаватора будет при управлении машинистом со стажем работы 10 лет и более.

Таким образом, для определения уровня соответствия квалификации машиниста качеству управления и эксплуатации ЭКГ необходимо учитывать коэффициент «управления экскаватором», который определяется по табл. 4.

Кроме того, произведена корректировка текста и связок логических правил, а также заданы новые значения коэффициентов определенности (табл. 4) для каждого правила, которые в первоначальной нечеткой модели были приняты равными 1 *(F_n)* – редактор правил (Rule Editor) [4].

Формирование баз правил осуществляется с использованием методов экспертной оценки в виде нечетких продукционных правил, связывающих множество нечетких условий с нечетким заключением, для каждого конкретного случая, что позволяет адаптировать разработанную модель на частные области операторского труда.

Ниже представлено отдельное *Правило_1(R_1)* из единой базы правил управления, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных, соответствующим показателям:

Правило<1>: ЕСЛИ «стаж ниже базового», «низкий коэффициент управления» и (или) «низкие теоретические знания» и *«удовлетворительные профессиональные навыки», ТО «коэффициент эффективности деятельности недопустимый» (F_1 = 0,25).*

Учет дополнительных критериев оценки в модифицированной модели позволит более качественно принимать решения в условиях размытости исходных данных, неполноты информации об эффективности управления и эксплуатации ЭКГ.

Таблица 4

Корректировка текста и связок логических правил

Стаж машиниста, лет	Значения показателя «управление экскаватором» $К_{5.4.}$ [13]	Коэффициент управления k_y	Диапазон F_n на шкале определенности	Значение коэффициента эффективности деятельности $k_{эф}$ [5]	Лингвистическая интерпретация
Менее 1 года	0,2	0,2–0,4	0,078–0,38	$k_{эф} < 0,35$	недопустимый уровень (несоответствие)
1–5	0,4	0,61	0,38–0,67	$0,35 < k_{эф} < 0,55$	критический уровень
5–10	0,6	0,8	0,67–0,87	$0,55 < k_{эф} < 0,75$	допустимый уровень
10–15	0,6–1,0	0,98	0,87–0,95 и более	$0,75 < k_{эф} < 0,9$ и более	оптимальный уровень
Более 15	1				

Состояние экскаватора	Аварийное	аварийный ремонт	аварийный ремонт	аварийный ремонт
		квалификация приемлема	повышение квалификации	повторное обучение, переподготовка
	С прогнозируемым отказом	диагностика и обслуживание по фактическому состоянию	диагностика и обслуживание по фактическому состоянию	диагностика и обслуживание по фактическому состоянию
		квалификация приемлема	повышение квалификации	повторное обучение, переподготовка
	Работоспособное	плановое обслуживание	плановое обслуживание	плановое обслуживание
		квалификация приемлема	повышение квалификации	повторное обучение, переподготовка
Подсистема «машинист - экскаватор»		Высокая	Средняя	Низкая
		Эффективность управления и эксплуатации		

Рис. 3. Матрица состояния подсистемы «машинист-экскаватор»

Результаты данной работы практически внедрены в систему аттестации персонала горных предприятий Южного Урала; на основе полученных данных сформирована матрица состояния подсистемы «машинист-экскаватор», на основе которой можно принимать обоснованные решения о траектории дальнейшего обучения или повышения квалификации машинистов экскаваторов (рис. 3).

Список литературы

1. Великанов В.С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата»: автореф. дис…. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2009. – 18 с.
2. Великанов В.С. Развитие методов оценки и управления эргономичностью горных машин и комплексов на основе нечетко-множественного подхода // Европейская наука и техника. Сб. науч. тр. – 2013. – С. 370–377.
3. Великанов В.С. Использование нечеткой логики и теории нечетких множеств для управления эргономическими показателями качества карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: изд-во «Горная книга», 2010. – № 9. – С. 57–62.
4. Великанов В.С. Возможности метода парных сравнений в установлении значимости показателей горных машин и комплексов по критерию эргономичности // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 4 – С. 43–46.
5. Великанов В.С. Тестовые методики и тренажерные средства в системе повышения профессионального мастерства операторов горных машин // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 131–133.
6. Великанов В.С., Шабанов А.А. Оценка профессиональной компетентности операторов горнотранспортных машин в условиях нечеткой информации // Перспективы развития горнотранспортного оборудования: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: изд-во «Горная книга», 2012. – ОВ № 2 – С. 117–124.
7. Исмагилов К.В., Великанов В.С. Проектирование отечественных мехлопат с учетом требований рынка горной техники и эргономических показателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: изд-во «Горная книга», 2009. – № 2. – С. 30–32.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.–736 с.
9. Олизаренко В.В., Великанов В.С. К вопросу ранжирования профессиональных навыков машиниста карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: изд-во «Горная книга», 2010. – № 3. – С. 315–319.
10. Осинцев Н.А. Управление безопасностью производства на рабочих местах с применением аппарата теории нечетких множеств // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 4 – С. 83–85.
11. Храмцов Н.В., Скипин Л.Н. Оценка профессионально-личностного уровня водителей и механизаторов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – № 6–1; URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-professionalno-lichnostnogo-urovnya-voditeley-i-mehanizatorov (дата обращения:18.11.2015). Научная библиотека.
12. Шарипов Р.Х. Изучение влияния скорости подъема ковша на долговечность рукояти экскаваторов с зубчато-реечным напором (на примере ЭКГ-5А): автореф. дис…. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 18 с.
13. Шибанов Д.А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ-18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов: автореф. дис…. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2015. – 22 с.
14. Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-18Р. Руководство по эксплуатации. 3550.00.00.000 РЭ. Том 1. / В.М. Донской [и др.]. – Колпино: ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», 2010. – 122 с. Инв. № 81625.