

Определение показателей надежности системы «оператор-горная машина-среда» методом функциональных сетей

Г.Г. Сафин, А.А. Абдрахманов, В.С. Великанов

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Аннотация: в работе рассмотрен метод оценки показателей надежности деятельности оператора экскаватора с помощью функциональных схем. Произведен расчет вероятностей безошибочного выполнения работы трех групп рабочего персонала (высокого уровня, достаточного и удовлетворительного).

Ключевые слова: оператор, человеко-машинная система, метод функциональных систем, экскаватор, функционеры, композиционеры, функциональные схемы.

Введение

В наше время технический прогресс не стоит на месте. С каждым днем техника становится все совершенней и для ее обслуживания требуется высококвалифицированный персонал.

Производственная деятельность операторов сложных технических систем связана с высокой напряженностью труда, что негативно отражается на качестве решаемых задач, и может привести к ухудшению функционала работника. В любых технологических объектах, в том числе и в горнодобывающей промышленности, определяющим фактором надежности является безошибочное выполнение действий человеком. Выполнив анализ данных аварийности и производственного травматизма можно сделать вывод, что значительное количество аварий и несчастных случаев происходят по вине самих людей. В связи с этим актуальной является задача объективного контроля уровня функциональной надежности и профессиональной компетентности операторов горной техники [1-5].

Цель данной работы состоит в повышении надежности человеко-машинной системы (ЧМС) в горной промышленности на примере машинистов (операторов) экскаваторов ЭКГ-5А. Данная цель обозначила

задачи и их решения. К ним относятся: расчет показателей надежности ЧМС; создание математической модели деятельности машиниста экскаватора; выполнение количественной оценки надежности человеко-машинной системы в случаях работы операторов на высоком, достаточном и удовлетворительном уровнях.

Методика расчета показателей надежности ЧМС методом функциональных сетей

На основе анализ научных публикаций можно прийти к выводу, что метод функциональных сетей наиболее перспективен для определения количественных значений показателей надежности. В данном методе описание процессов деятельности человека выполняется с помощью следующих элементов [6]: функционеры и композиционеры, эти единицы функционирования являются типовыми почти для всех процессов функционирования ЧМС, и поэтому их называют типовыми функциональными единицами (ТФЕ). Функционеры соответствуют реальным операциям или действиям, которые выполняет человек: рабочие, логические (альтернативные) и задержки. Дополнительными функционерами осуществляются логические операции: контроль (самоконтроль) правильности выполнения предыдущих операций, проверка работоспособности технических средств, организационный контроль. Перечень основных показателей и условных обозначений приведен в таблице № 1.

Таблица № 1

Функционеры

ТФЕ	Условное обозначение	ТФЕ	Условное обозначение
Рабочая		Контроль функционирования	
Проверка работоспособности		Задержка	

Вспомогательные и служебные композиционеры не отражают реальных операций, но принято считать, что эти элементы имеют вероятность безошибочного выполнения, равную единице, а время для выполнения этого действия равно нулю. Вспомогательными композиционерами являются: соединители "И", "ИЛИ"; ограничители циклов. К служебным композиционерам относятся: элементы отмечающие начало (стартер) или конец (финишер) некоторых операций, которые являются частью алгоритма или алгоритмом функционирования в целом; разделители блоков операций.

Совокупность ТФЕ - это конечные и промежуточные объекты функциональных сетей, которые отображают процесс функционирования ЧМС. Для типовых функциональных структур (ТФС), которые являются часто встречающимися фрагментами функциональных сетей, для них были разработаны математические модели, с помощью которых производится вычисление показателей ТФС (табл. 2).

Для того чтобы выполнить расчет пользуются следующими количественными характеристиками: B^1 - вероятность отсутствия ошибки

при выполнении производственной функции; B^0 - вероятность совершения ошибки при выполнении производственной функции; $K^{11}(K^{10})$ - условная вероятность того, что функция будет признана выполненной правильно (неправильно), при условии, что она фактически выполнена правильно; K^{00} - условная вероятность того, что функция будет признана выполненной неправильно, при условии, что она фактически выполнена неправильно [6,7].

Таблица № 2

Модели для оценки надежности процессов функционирования ЧМС

Номер и содержание ТФС	Схема ТФС	Эквивалентная ТФЕ	Расчетная формула
Последовательное выполнение рабочих операций Р		Рабочая операция 	$B = \prod_{i=1}^n B_i,$ где i - номер ТФЕ П-произведение вероятностей от 1 до n
n-кратное повторение рабочей операции с приемкой при наличии хотя бы одного успешного исхода		Рабочая операция 	$B = 1 - (1 - B_1^n)$
Последовательное выполнение рабочей операции Р и контроля К		Рабочая операция 	$B = B^1 K^{11}$

функционирования			
Рабочая операция с контролем функционирования и исправлением ошибки без циклов		Рабочая операция	$B = B_1^1 K^{11} + (B_1^0 K^{00} + B_1^1 K^{10}) B_2^1$

Расчет показателей надежности деятельности оператора экскаватора

Рабочий цикл одноковшового экскаватора является составляющей рабочего процесса. Этот процесс заключается в разработке и перемещения грунта, и передвижения экскаватора к забою, если это потребуется.

За рабочий цикл экскаватор выполняет следующие операции: копание грунта (срезание и заполнение им ковша); выведение ковша с грунтом из забоя; перемещение заполненного грунтом ковша к месту разгрузки; разгрузка грунта из ковша в отвал или в транспортное средство; перемещение ковша (поворот платформы) к забою; опускание ковша для подготовки к следующей операции копания [8-10].

В процессе работы оператор экскаватора контролирует следующие основные параметры: взаимодействие ковша с забоем; обрушение верхней кромки забоя и наличие негабарита; правильность подъезда транспорта и полнота его загрузки; предупреждение ударов транспорта по хвостовой части; головные блоки и приближение ковша к стреле; предупреждение ударов ковша о гусеницы, передвижение по площадке; местоположение транспорта и появление посторонних объектов; верхнюю кромку забоя и боковое окно; основные средства информации, отображаемые на пульте



управления; правильность закрывания и открывания днища ковша; целостность упряжи; предупреждение ударов ковша по транспортному сосуду [11].

Выполнив анализ деятельности оператора, была разработана функционально-структурная схема деятельности (рис.1). В таблице № 3 приведен перечень операций, которые выполняет оператор экскаватора ЭКГ-5А за смену длительностью 8 часов. За это время он выполняет погрузку одного автосамосвала БелАЗ 13 раз при условии, что дальность транспортировки горной массы составляет 2,2 км.

Расчет проводился для трех различных групп операторов (работа операторов на высоком, достаточном и удовлетворительном уровнях). В таблице № 4 приведены исходные данные по рассматриваемым в алгоритме функционирования операциям. Получившиеся показатели надежности представлены в таблице № 5.

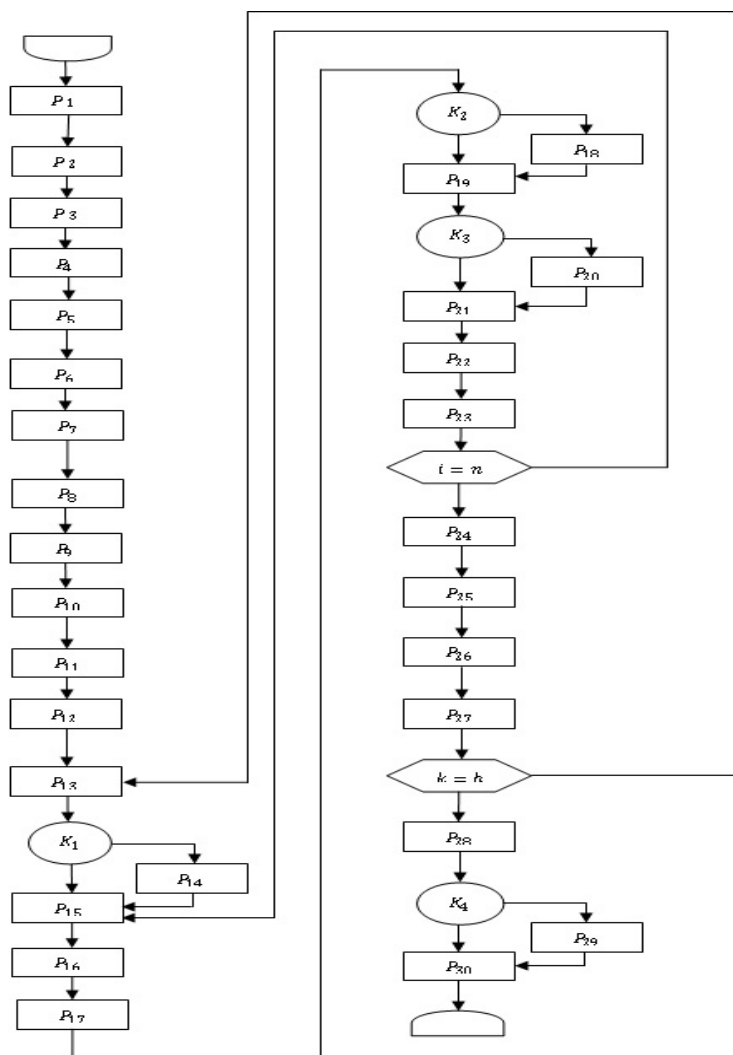


Рис. 1. Функционально-структурная схема производственной деятельности оператора экскаватора.

Таблица № 3.

Перечень и содержание операций производственной деятельности оператора экскаватора

Обозначение ТФЕ и номер операции	Содержание операции
P1	Осмотр ЯКНО
P2	Осмотр кабеля от ЯКНО до экскаватора



P3	Осмотр входа кабеля в коробку экскаватора
P4	Осмотр проводов (должны быть зажаты хомутом)
P5	Проверка журнала о сдаче-приеме смены
P6	Осмотр электрооборудования: щетки генераторной группы, все двигатели должны быть заземлены; щетки держатели в двигателях поворот-ход, опор-подъем; осмотр устройства автоматизированного контроля изоляции (УАКИ)
P7	Осмотр экскаватора по механической части: соединения креплений рукоять-ковш; соединения креплений коромысло-ковш, шлемтовка колец; осмотр шлемтовки гусеничных лент.
P8	Запись в журнале о приеме смены.
P9	Включение электроприводов
P10	Осмотр вентилятора двигателей поворот, подъем, ход.
P11	Перемещение экскаватора к забою
P12	Включение гидравлического оборудования.
P13	Установка экскаватора для погрузки горной массы
K1	Контроль со стороны оператора за: правильностью подъезда автосамосвала к экскаватору для погрузки горной массы; негабаритами; обрушения козырька.
P14	Раскладки негабаритов.
P15	Подача сигнала о начале погрузки по таблице



	сигналов
P16	Черпание горной массы
P17	Выведение ковша с грунтом из забоя
K2	Контроль со стороны оператора за появлением посторонних объектов в радиусе 25 метров.
P18	Остановка экскаватора до удаления посторонних объектов.
P19	Перемещение ковша к месту разгрузки
K3	Контроль со стороны оператора ударов ковша по транспорту
P20	Устранение ударов ковша по транспорту
P21	Открытие днища ковша
P22	Перемещение ковша в забой
P23	Закрытие днища ковша
P24	Подача сигнала об окончании загрузки автосамосвала по таблице сигналов
P25	Контроль уровня масла в гидравлике
P26	Контроль давление воздуха
P27	Контроль за напряжением приводов, подъем напор, поворот-ход.
P28	Выключение электроприводов
K4	Контроль со стороны оператора за: состоянием гусениц; целостностью канатов; состоянием кабеля
P29	Устранение неполадок
P30	Запись в журнале об окончании работы
I:=n	n повторений операций до заполнения кузова

	автосамосвала
$K:=h$	h кол-во автосамосвалов за промежуток времени

Таблица № 4.

Исходные данные по показателям надежности ТФЕ для оператора
 экскаватора

№ операции	B^1	B^0	K^{11}	K^{10}	K^{00}	Ссылка
P13,P17, P19, P28, P30	0,9967	0,0033	-	-	-	[12]
P14,P18,P20, P29	0,9/0,75/ 0,55	0,1/0,25/ 0,45	-	-	-	[11]
P1,P2,P3,P4, P5,P6,P7,P8, P9,P10,P11,P 12,P15,P16,P 21,P22,P23,P 24,P25,P26	0,999	0,001	-	-	-	[12]
K1, K2, K3, K4	-	-	0,9/0,75/ 0,55	0,1/0,25/ 0,45	0,9/0,75 /0,55	[11]

Таблица № 5.

Расчет вероятности безошибочного выполнения производственных
 функций

Схема ТФС	Расчетная вероятности безошибочного выполнения	формула	Результат		
			Высоки й уровень	Достато чный уровень	Удовлетв орительн ый

					уровень
1		$B_{p1} = B_1^1 \times B_2^1 \times B_3^1 \times B_4^1 \times B_5^1 \times B_6^1 \times B_7^1 \times B_8^1 \times B_9^1 \times B_{10}^1 \times B_{11}^1 \times B_{12}^1$	0,9881	0,9881	0,9881
2		$B_{p2} = B_{13}^1 K_1^{11} + (B_{13}^0 K_1^{00} + B_{13}^1 K_1^{10}) B_{14}^1$	0,9894	0,9362	0,7959
3		$B_{p3} = B_{15}^1 \times B_{16}^1$	0,998	0,998	0,998
4		$B_{p4} = B_{17}^1 K_2^{11} + (B_{17}^0 K_2^{00} + B_{17}^1 K_2^{10}) B_{18}^1$	0,9894	0,9362	0,7959
5		$B_{p5} = B_{19}^1 K_3^{11} + (B_{19}^0 K_3^{00} + B_{19}^1 K_3^{10}) B_{20}^1$	0,9894	0,9362	0,7959

6		$B_{p6} = B_{21}^1 \times B_{22}^1 \times B_{23}^1$	0,997	0,997	0,997
7		$B_{p7} = (B_{p3} \times B_{p4} \times B_{p5} \times B_{p6})^4$	0,974	0,872	0,63
8		$B_{p8} = B_{24}^1 \times B_{25}^1 \times B_{26}^1 \times B_{27}^1$	0,996	0,996	0,996
9		$B_{p9} = (B_{p2} \times B_{p7} \times B_{p8})^{13}$	0,587	0,068	0,000012
10		$B_{p10} = B_{28}^1 K_4^{11} + (B_{28}^0 K_4^{00} + B_{28}^1 K_4^{10}) B_{29}^1$	0,9894	0,9362	0,7959

11	<p>$B_{p11} = B_{30}^1$</p>	0,999	0,999	0,999
Итоговый результат		0,95	0,88	0,79

Выводы

1. Разработана математическая модель производственной деятельности оператора экскаватора.
2. Методом функциональных сетей произведен расчет надежности функционирования рассматриваемой ЧМС.
3. На основе расчетов установлено, что вероятность безошибочного выполнения работы у оператора высокого уровня составляет 95%, достаточного 88% и удовлетворительного 79%.

Литература

1. Porteous Murray, Hodgins Joan. A survey of selection practices in Irish organisations. Irish J. Psychol // 1995. 16, № 4. pp 397-408.
2. Ceau su Valeriu. Obiective cerinte si conditii ale examenului psihologic in procesul selectiei profesionale // Rev. psihol..1987. 33, № 2. pp 113-117.
3. Великанов В.С., Исмагилов К.В., Использование экспертно-аналитического метода по формированию эффективной системы рейтинговой оценки технологического персонала на горных предприятиях//Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2011. С. 46-56.



4. Великанов В.С. Методика оценки профессиональной компетентности операторов горно-транспортных машин // Горная промышленность. 2012. № 2. С. 114-117.
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. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука, 1982. 270 с.
7. Иванова М.В. Разработка метода снижения риска аварийности и травматизма в газовой промышленности на основе профессионального отбора операторов (на примере операторов по добыче газа). Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. М.: РГБ, 2003. 141 с. (из фондов Российской Государственной библиотеки).
8. Беркман И.Л., Раннев А.В., Рейш А.К. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы. М.: Высшая школа, 1977. 388 с.
9. Котесова А.А. Оптимизация вероятности безотказной работы стрелы одноковшового экскаватора // Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/807.
10. Касьянов В.Е., Зайцева М.М., Котесова А.А., Котесов А.А., Котова С.В. Расчетно-экспериментальное определение гамма-процентного ресурса стрелы одноковшового экскаватора для генеральной совокупности конечного объема // Инженерный вестник Дона, 2012, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/624.
11. Великанов В.С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата» дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Екатеринбург: РГБ ОД, 2009. 118 с.



12. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Информационно-управляющие человеко-машинные системы. Исследование, проектирование, испытания. Справочник. М.: Машиностроение, 1993. 528 с.

References

1. Porteous Murray, Hodgins Joan. A survey of selection practices in Irish organisations. *Irish J. Psychol* // 1995. 16, № 4. pp 397-408.
2. Ceau su Valeriu. Obiective cerinte si conditii ale examenului psihologic in procesul selectiei profesionale // *Rev. psihol.* 1987. 33, № 2. pp 113-117.
3. Velikanov V.S., Ismagilov K.V. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya (Proc. International scientific-technical conference). Ekaterinburg: izd-vo UGGU, 2011. pp. 46-56.
4. Velikanov V.S. *Gornaya promyshlennost'*. 2012. № 2. pp. 114-117.
5. Velikanov V.S. *Gornyy zhurnal*. 2012. № 9. pp. 131-133.
6. Gubinskiy A.I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh system* [The reliability and quality of operation of ergatic systems]. L.: Nauka, 1982. 270 p.
7. Ivanova M.V. *Razrabotka metoda snizheniya riska avariynosti i travmatizma v gazovoy promyshlennosti na osnove professional'nogo otbora operatorov* [Developing a method to reduce the risk of accidents and injuries in the gas industry on the basis of professional selection operators]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.01. M.: RGB, 2003. 141 p.
8. Berkman I.L., Rannev A.V., Reysh A.K. *Universal'nye odnokovshovye stroitel'nye ekskavatory* [Universal shovel construction excavators]. M.: Vysshaya shkola, 1977. 388 p.
9. Kotesova A.A. *Inzhenernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/807.



10. Kas'yanov V.E., Zaytseva M.M., Kotesova A.A., Kotesov A.A., Kotova S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/624.
11. Velikanov V.S. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii kar'ernykh gusenichnykh ekskavatorov s oborudovaniem «pryamaya mekhanicheskaya lopata» [Improving the efficiency of operation of career crawler excavators equipment "direct mechanical shovel"]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.06. Ekaterinburg: RGB OD, 2009. 118 p.
12. Gubinskiy A.I., Evgrafov V.G. Informatsionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnye sistemy. Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya. Spravochnik [Information management man-machine systems. Research, design, testing. Reference]. M.: Mashinostroenie, 1993. 528 p.