

С.А. Панихидников, С.В. Новоселов, А.В. Куликович

ОЦЕНКА ПОДСИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» (МАШИНИСТ ГОРНО-ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН — ОЧИСТНОЙ КОМБАЙН) В ГРАНИЦАХ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ — ОДИН ИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Аннотация. Раскрыта проблема человеческого фактора в системе «человек-машина», что необходимо для обеспечения ее надежного функционирования. Основными показателями характеризующими профессиональную пригодность машинистов горно-выемочных машин (МГВМ) являются быстродействие и надежность, что необходимо при управлении очистным комбайном имеющими многофункциональное управление и инерционность как при включении, так и отключении комбайна. Критерием оценки быстродействия является время решения задачи, т.е. время от момента реагирования МГВМ на поступающий сигнал до момента окончания управляющих воздействий. Критерием надежности МГВМ (как оператора) является его способность выполнять в полном объеме возложенные на его функции в условиях очистного забоя угольной шахты. Решена основная задача приведен метод оценки надежности системы «машинист горно-выемочных машин — очистной комбайн» в границах очистного забоя угольной шахты. Даны выводы и рекомендации по правильному и обоснованному учету человеческого фактора при функционировании системы «человек-машина», при составлении паспортов выемочного участка во временном аспекте работы комбайна, что обеспечит максимальную нагрузку на забой при соблюдении норм промышленной безопасности.

Ключевые слова: система «человек-машина», надежность системы, быстродействие оператора, надежность оператора, многофункциональное управление, инерционность, критерий, промышленная безопасность.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-227-233

Актуальность совершенствования методик оценки системы промышленной безопасности угольной шахты и безопасности жизнедеятельности ее элементов

В последнее время одним из важных научных направлений разрабатываемых современными учеными становится проблема промышленной безопасности, что отражено рядом публикаций по формированию систем промышлен-

ной безопасности на угольных шахтах [1, с. 46], [2, с. 74], [3, с. 43], да и понятно, что системные аварии произошедшие на ряде шахт в недавнем прошлом, связанных со взрывами газа метана [4, с. 34], [5, с. 84], имеют для них катастрофические последствия, как в социально-моральном, так и в финансово-экономическом плане.

Актуальность вопросов безопасности жизнедеятельности на угольных шахтах

Таблица 1

Диапазон суммарного времени выполнения операции «проверка работы комбайна» МГВМ
Total time range for the shearer functioning test by HSMO

| Операция | Обрабатываемые информационные единицы | | | | | | | | | | ΣH | a | b _{min} | b _{max} | T _{min} | T _{max} |
|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | внешний осмотр комбайна (5 ед) | наличие напряжения на пульте (1 ед) | наличие сигнала на пульте (1 ед) | запуск правого шнека (1 ед) | запуск лев. шнека (1 ед) | подъем/опускание редуктора правого шнека (2 ед) | подъем/опускание редуктора лев. шнека (2 ед) | работа орошения (2 ед) | включение подачи комбайна (1 ед) | включение комбайна (1 ед) | | | | | | |
| Проверка работы комбайна | 300 | 3 | 15 | 2 | 2 | 10 | 10 | 5 | 2 | 3 | 17 | 0,6 | 0,15 | 0,35 | 14,45 | 18,7 |
| Время и инерционность управляемого элемента комбайна (I), с | диапазон времени, требуемый МГВМ на определение готовности комбайна к работе, в зависимости от быстродействия (принятия решения) | | | | | | | | | | 366,5 | | | | 370,7 | |

Таблица 2

Расчет диапазона времени требуемого МГВМ на выход эффективный функциональный режим по операции «выемки угля комбайном»
Calculation of time range for HSMO to reach efficient mode in "coal cutting" operation

| Операция | Обрабатываемые информационные единицы | | | | | | | | | | ΣH | a | b _{min} | b _{max} | T _{min} | T _{max} |
|--|--|---|---|--|---|--|--|---|--------------------------------|--------------------------------|------------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | включение предупредительного сигнала комбайна (1 ед) | включение режущих органов комбайна (2 ед) | включение механизма низма по-нов-даци, (1 ед) | контроль правого шнека по мощности пласта, (20 ед) | контроль лев. шнека по мощности пласта, (20 ед) | контроль крепление секций по ходу движения жения пласта, (20 ед) | контроль навал-ки угля на конвейер (10 ед) | контроль скорости подачи комбайна (10 ед) | контроль роль-механизма (2 ед) | контроль роль-механизма (2 ед) | | | | | | |
| Выемка угля комбайном | 15 | 3 | 3 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | 2 | 30 | 96 | 0,6 | 0,15 | 0,35 | 14,45 | 18,7 |
| Инерционность управляемого элемента комбайна, с | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Суммарное время инерционности в операции | | | | | | | | | | | | | | | 108 | 108 |
| Суммарное время скрытой реакции | | | | | | | | | | | | | | | 57,6 | 57,6 |
| Время переработки информации | | | | | | | | | | | | | | | 24 | 48 |
| Суммарное время требуемое машинисту МГВМ на выход эффективный функциональный режим | | | | | | | | | | | | | | | 189,6 | 213,6 |

определена еще и тем, что в Кузбассе, угольном бассейне № 1 России, будет проводиться политика перехода от открытой угледобычи к подземной согласно стратегии развития региона до 2035 г., как об этом утверждает Губернатор Кемеровской области С. Цивилев, констатируя необходимость улучшения экологической позиции развития региона [6, с. 8].

Ввиду того, что промышленная безопасность шахты сложная иерархическая система, то необходима оценка всех ее элементов, одним из основных которой, является подсистема «человек-машина» (машинист горно-выемочных машин — очистной комбайн) в границах очистного забоя. Метод оценки элемента «человек-машина» очистного забоя системы промышленной безопасности угольной шахты раскрывается ниже.

Метод оценки подсистемы «машинист горно-выемочных машин — очистной комбайн» в границах очистного забоя угольной шахты

Как уже было отмечено, что критерием оценки быстродействия является время решения задачи ($T_{он}$), т.е. время от момента реагирования МГВМ на поступающий сигнал до момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время $T_{он}$ прямо пропорционально количеству преобразуемой человеком информации [7, с. 76]. Тогда, по аналогии с В.И. Каракеяном, суммарное время на полное выполнение операции МГВМ в зависимости его индивидуального быстродействия и учета инерционности управляемого элемента комбайна (I_i) составит (1).

$$\begin{aligned} \sum T_{он} &= \sum a_i + \sum b_i H_i = \\ &= (\sum a_i + \sum I_i) + \left(\sum \frac{H_i}{V_{oni}} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где a — скрытое время реакции, т.е. промежуток времени от момента появления

сигнала до реакции на него оператора, его значение находится в пределах 0,2—0,6 с; b — время переработки одной единицы информации (0,15—0,35 с); H — количество перерабатываемой информации (ед.); $V_{он}$ — средняя скорость переработки информации (2—4) ед /с, или пропускная способность.

Рассчитаем диапазон времени для МГВМ на операцию «проверка работы комбайна», в зависимости от времени переработки одной единицы информации (сигнала надо который надо отреагировать), см. табл. 1.

Как видно из табл. 1, параметр скорости переработки информации при подготовке комбайна к работе в аспекте быстроедействия (принятия решения) незначительно влияет на скорость операции «проверка работы комбайна», ввиду ее стандартности (регламентации) расхождение в 1%.

Расчет диапазона времени требуемого МГВМ на выход в эффективный функциональный режим по операции выемки угля комбайном приведен в табл. 2.

Анализ табл. 2, позволяет сделать вывод, что на продолжительность времени переработки информации (сигналов) МГВМ при резании угля (основной операции «выемка угля») значительно влияет его профессионализм. В данном случае от времени (b_{min}) и (b_{max}) диапазон достижения эффективного функционального режима составляет 189,6 — 213,6 с, т.е. 12,7%. Это объясняется тем, что обрабатываемые информационные единицы имеют сложное, объемное содержание и требуют от МГВМ большего внимания и напряжения, чем на простые операции, например обрабатываемая информационная единица «контроль правого шнека по мощности пласта» включает: контроль за скоростью подъема, контроль за скоростью опускания, контроль за скоростью движения комбайна, контроль за усилием прижи-

ма шнека к «груди» забоя, повышенный контроль в верхней точке пласта, повышенный контроль в нижней точке пласта, контроль за состоянием радиальных зубков шнека, контроль за состоянием боковых зубков шнека, контроль за наличием в пласте крепких прослоек пород, контроль за суммарной нагрузкой врубки шнеков в пласт, контроль за вибрацией комбайна, контроль за нагревом электродвигателей, контроль за обрушением пород кровли, контроль за погрузкой отбитого угля, контроль за работой лавного конвейера, контроль за концентрацией метана, контроль за состоянием воздушной струи, контроль за кабелеукладчиком и др. сигналы аварийного состояния — вывалы породы с кровли, аварийное опускание крепи, выход из строя прижимных козырьков и многое другое (объем сложности 20 ед.). Такие обрабатываемые информационные единицы определены объемом сложности 20 ед., их несколько, см. табл. 2). Самое трудное для МГВМ — все эти сигналы надо контролировать одновременно, что определяет профессионализм и рейтинг труда МГВМ, что рассмотрено в ряде источников [8—10].

Следующий аспект, который учитывается в системе «человек-машина», это безошибочность выполнения операций. В.И. Каракеян, вероятность (P_j) безошибочного выполнения операций j -го вида и интенсивность ошибок λ_j , допущенных при этом, применительно к фазе устойчивой работы определяет на основе статистических данных, см. формулу [7, с. 46], см. формулу (2):

$$P_j = \frac{(N_j - C_{\text{ош}j})}{N_j \lambda_j} = \frac{C_{\text{ош}j}}{(N_j \cdot T_j)}, \quad (2)$$

где N_j — общее число выполняемых операций j -го вида; $C_{\text{ош}j}$ — общее число допущенных при этом ошибок; T_j — среднее время выполнения операции j -го вида.

В свою очередь, авторы при анализе формулы (2), предлагают ввести в нее

учет фактора ущерба от ошибки — время простоя ($t_{\text{пр}}$). Возьмем самый радикальный случай $C_{\text{ош}j} = N_j = 10$ ошибок, при ($t_{\text{пр}} = 1$ с; ($t_{\text{пр}} = 60$ с; ($t_{\text{пр}} = 3600$ с, то получим следующее, см. формулу (3):

$$P_j = C_{\text{ош}j} \cdot t_{\text{пр}} / (N_j \cdot T_j), \quad (3)$$

$$P_{j1} = (10 \cdot 1) / (10 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 60) = 1 / 28800 = 0,003\%;$$

$$P_{j60} = (10 \cdot 60) / (10 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 60) = 1 / 480 = 0,2\%;$$

$$P_{j3600} = (10 \cdot 60 \cdot 60) / (10 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 60) = 1 / 8 = 12,5\%;$$

Можно сделать вывод, что цена ошибки определяется ее ущербом, т.е. потенциальным временем простоя и вытекающими отсюда экономическими затратами.

При оценке надежности системы «человек-машина» («машинист горно-выемочных машин — очистной комбайн») в границах очистного забоя угольной шахт, воспользуемся формулой определения вероятности (P) ее безотказной работы за период времени от t_0 до t , см. формулу (4):

$$P(t_0, t) = P_T(t_0, t) \cdot P_0(t_0, t), \quad (4)$$

где $P_T(t_0, t)$ — вероятность работы техники за период от t_0 до t ; $P_0(t_0, t)$ — вероятность безошибочной работы МГВМ в течении времени t .

Исходя из нашего примера, даже если комбайн будет работать с безотказностью равной 1, мы будем иметь следующие параметры надежности $P(t_0, t)$ системы «человек-машина»:

$$P(t_0, t)_1 = 1 - (0,00035) = 0,99965;$$

$$P(t_0, t)_{60} = 1 - (0,002) = 0,998;$$

$$P(t_0, t)_{3600} = 1 - (0,125) = 0,875.$$

Если же, будем исходить, из того, что безотказность человеческого фактора 1, а подсистема комбайн, так же выходит из строя за смену на 1 с, 60 с, и час, то имеет: $P(t_0, t)_1 = 0,00035$; $P(t_0, t)_{60} = 0,002$; $P(t_0, t)_{3600} = 0,125$.

Если же происходит обычное наложение отрицательных факторов — пессимистический вариант, подсистемы поочередно выходят из строя (что нельзя сбрасывать со счета), получим практически подтверждаемые цифры:

$$P(t_0, t)_{1} = 0,999;$$

$$P(t_0, t)_{60} = 0,996;$$

$$P(t_0, t)_{3600} = 0,766$$

Как видим, в последнем варианте надежность системы снизилась почти на 24%, что в свою очередь приведет как к потерям времени, так и к возникновению экономических рисков, что рассматривается в ряде иностранных публикаций [9—13]. Все это доказывает значимость надежности элемента как «человеческого фактора», так и элемента «машины», в системе «человек-машина», что принципе, а можно рассматривать более объемно континууме «человек — машина — среда», что проанализировано И.В. Переездчиковым [14, с. 120], и по логике, следующим уровнем исследований, должна быть рассмотрена система «МГВМ — комбайн — шахта», которая при технологии лава-шахта, всецело определяет надежность системы промышленной безопасности угольной шахты, охватывая все уровни иерархии.

Заключение

В настоящее время в угольной промышленности России при интенсифика-

ции угледобычи вопросы оценки человеческого фактора в системе «человек-машина», остаются весьма актуальными как с аспекта промышленной безопасности, так и с аспекта безопасности жизнедеятельности.

Предложенные методы оценки быстродействия МГВМ на поступающий сигнал до момента окончания управляющих воздействий будут способствовать рациональной разработке режима технологического цикла и значит повышению промышленной безопасности.

На основе приведенного метода можно рассчитывать надежность системы «машинист горно-выемочных машин — очистной комбайн» в границах очистного забоя угольной шахты, и делать выбор рациональной продолжительности операций технологического цикла добычи угля.

По предложенной формуле (3), при учете фактора ущерба от ошибки — времени простоя (t_{np}), можно учитывать не только техническую надежность и безопасность, но и рассчитывать экономическую эффективность функционирования системы «человек-машина».

Данный метод может быть использован для оптимизации времени операций технологического цикла в очистных забоях, при учете того, что интеграция составляющих метода формирует синергетический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев В. Б., Лисовский В. В., Сальников А. А., Ютяев Е. П., Иванов Ю. М., Кравчук Ю. Л.* Освоение контроля производственных ситуаций — новый этап в повышении безопасности и эффективности производства в АО «СУЭК» // Уголь. — 2016. — № 12. — С. 46—50.
2. *Артемьев В. Б., Галкин В. А., Макаров А. М., Кравчук И. Л., Галкин А. В.* Механизм предотвращения реализации опасной производственной ситуации // Уголь. — 2016. — № 5. — С. 73—77.
3. *Клишин В. И., Писаренко М. В.* Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли // Уголь. — 2014. — № 9. — С. 43—46.
4. *Новоселов С. В., Панихидников С. А.* Травматизм в угольной промышленности России прогнозирование риска аварий взрыва метана на опасном производственном объекте — очистном забое угольной шахты // Уголь. — 2017. — № 9. — С. 33—35.

5. Шалаев В. С., Шалаев Ю. В., Флоря Н. Ф. Взрывозащита горных выработок угольных шахт. Концепция // Уголь. — 2014. — № 9. — С. 82–85.
6. Чашин К. 100 дней после назначения: Сергей Цивилев представил Стратегию развития Кузбасса // Комсомольская правда. — № 73 (268540) от 10 июля 2018 г.
7. Каракеян В. И. Безопасность жизнедеятельности: учебник для бакалавров. — М.: ИД «Юрайт», 2013. — 455 с.
8. Новоселов С. В. Панихидников С. А. Методика определения профессионального рейтинга машиниста горно-выемочных машин высоконагруженных очистных забоев шахт Кузбасса и связь человеческого фактора с риском взрыва метана // Уголь. — 2017. — № 7. — С. 62–64.
9. Чэнь Мин, Shiwep Mao, Инь Чжан, Виктор С. М. Люн. Большие данные. Связанные технологии, проблемы и перспективы. Springer, 2014. 100 p.
10. Тревор Хэсти, Роберт Тибширани, Джером Фридман Элементы статистического обучения: интеллектуальный анализ данных, вывод и прогнозирование. — Спрингер, 2003. — 552 с.
11. Узелок Р. Управление рисками в экономических единицах. Аспект всего сущего. — Краков: Изд-во АЕ, 2003.
12. Борода М. З. Управление рисками, <http://stare.ryzyko.pl/> (дата доступа 05.06.2016).
13. Качмарек Т. Риск и управление рисками — дубль междисциплинарные. — М.: Difin, 2005.
14. Переездчиков И. В. Анализ опасностей промышленных систем человек-машина — среда и основы защиты: учебное пособие. — М.: КНОРУС, 2011. — 784 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Панихидников Сергей Александрович*¹ — кандидат военных наук, доцент, зав. кафедрой, e-mail: panihidnikov@mail.ru,
*Новоселов Сергей Вениаминович*¹ — кандидат экономических наук, доцент, e-mail: nowosyolow.sergej@yandex.ru,
*Кулинкович Алексей Викторович*¹ — кандидат химических наук, доцент, e-mail: geochem@mail.ru,
¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 10, pp. 227–233.

Estimation of man–machine subsystem (mining machine operator–shearer loader) within coal longwall—one of methodical elements of coal mine safety assessment

*Panikhidnikov S.A.*¹, Candidate of Military Sciences, Assistant Professor, Head of Chair, e-mail: panihidnikov@mail.ru,
*Novoselov S.V.*¹, Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor, e-mail: nowosyolow.sergej@yandex.ru,
*Kulinkovich A.V.*¹, Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor, e-mail: geochem@mail.ru,
¹ Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia.

Abstract. The problem of human factor in the man–machine system is disclosed, which is necessary to ensure proper operation. The key indicators to characterize professional aptitude of heading and shearing machine operators (HSMO) are response and reliability required in operation of shearer loaders featuring functional control and lag effect both in actuation and deactivation. The response criterion is time in task, i.e. time between the moment when HSMO receives input signals and the moment of completion of control action. The reliability criterion of HSMO is the operator's ability to perform in full all assigned

functions in the condition of coal mine longwall. The basic problem is solved, and the method to estimate reliability of the mining machine operator–shearer loader system within a coal mine longwall is presented. The conclusions are drawn, and the recommendations are given on proper and reasoned inclusion of human factor in evaluation of the man–machine performance and in preparing longwall standards with respect to the machine operation time, which will ensure maximum face output under compliance with the mine safety regulations.

Key words: man–machine system, system reliability, operator response, operator reliability, multi-function control, lag effect, criterion, production safety.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-227-233

REFERENCES

1. Artem'ev V. B., Lisovskiy V. V., Sal'nikov A. A., YUtyaev E. P., Ivanov YU. M., Kravchuk YU. L. Osvoenie kontrolya proizvodstvennykh situatsiy — novyy etap v povyshenii bezopasnosti i effektivnosti proizvodstva a AO «SUEK» [Development of production control situations — a new stage in improving the safety and efficiency and JSC «SUEK»], *Ugol'*. 2016, no 12, pp. 46–50. [In Russ].
2. Artem'ev V. B., Galkin V. A., Makarov A. M., Kravchuk I. L., Galkin A. V. Mekhanizm predotvrashcheniya realizatsii opasnoy proizvodstvennoy situatsii [Mechanism to prevent the sale of hazardous production situation], *Ugol'*. 2016, no 5, pp. 73–77. [In Russ].
3. Klislin V. I., Pisarenko M. V. Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya ugol'noy otrasli [Scientific provision of innovative development of the coal industry], *Ugol'*. 2014, no 9, pp. 43–46. [In Russ].
4. Novoselov S. V., Panikhidnikov S. A. Travmatizm v ugol'noy promyshlennosti Rossii prognozirovaniye riska avariy vzryva metana na opasnom proizvodstvennom ob'ekte ochistnom zaboe ugol'noy shakhty [Injuries in the coal industry of Russia prediction of the risk of accident methane explosion at the hazardous production facility — breakage face coal mine], *Ugol'*. 2017, no 9, pp. 33–35. [In Russ].
5. Shalaev V. S., Shalaev Yu. V., Florya N. F. Vzryvozashchita gornyykh vyrabotok ugol'nykh shakht. Kontseptsiya [Explosion protection of coal mines. Concept], *Ugol'*. 2014, no 9, pp. 82–85. [In Russ].
6. Chashin K. 100 dney posle naznacheniya: Sergey Tsivilev predstavil Strategiyu razvitiya Kuzbassa [100 days after the appointment: Sergey Tsivilev presented the development Strategy of Kuzbass]. *Komsomol'skaya pravda*, no 73 (268540), 10 July 2018. [In Russ].
7. Karakeyan V. I. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: uchebnik* [Life safety: Textbook], Moscow, ID «Yurayt», 2013, 455 p.
8. Novoselov S. V. Panikhidnikov S. A. Metodika opredeleniya professional'nogo reytinga mashinista gorno-vyemochnykh mashin vysokonagruzhenykh ochistnykh zaboev shakht Kuzbassa i svyaz' chelovecheskogo faktora s riskom vzryva metana [Methods of determining the professional ranking of machinist mining excavation machinery high load mines mines of Kuzbass and the relationship of human factors with risk of explosion of methane], *Ugol'*. 2017, no 7, pp. 62–64. [In Russ].
9. Min Chen, Shiwen Mao, Yin Zhang, Victor C. M. Leung. *Big data. Related technologies, challenges and prospects*. Springer, 2014. 100 p.
10. Trevor Hastay, Robert Tibshirani, Jerome Friedman *Elements of statistical training: data mining, inference and prediction*. Springer, 2003, 552 p.
11. Nodule R. *Risk management in economic units. Aspect of all things*, AE Publishing, Krakow, 2003.
12. Boroda M. Z. *Upravlenie riskami*, available at: //stare.ryzyko.pl/ (accessed 05.06.2016).
13. Kachmarek T. *Risk i upravlenie riskami — dubl' mezhdistsiplinarye* [Risk and risk management take a multidisciplinary], Moscow, Difin, 2005.
14. Perezdchikov I. V. *Analiz opasnostey promyshlennykh sistem chelovek-mashina sreda i osnovy zashchity: uchenoe posobie* [Risk analysis of industrial systems man-machine — environment and framework for the protection of: Educational aid], Moscow, KNORUS, 2011, 784 p.

