

УДК 629.11

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

**В.Е. Овсянников, В.И. Васильев**ФГБОУ ВО Курганский государственный университет,  
г. Курган, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Человеческий фактор и такие характеристики операторов строительно-дорожных машин, как стаж, опыт работы, профессиональные навыки, мастерство и т.д. оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации техники. Человеческий фактор, так или иначе, является причиной около трети выходов из строя строительно-дорожных машин. Одним из самых эффективных путей выхода из данной ситуации является совершенствование машин с позиций обеспечения совместимости элементов системы «человек–машина». В статье рассмотрены вопросы инженерно-психологической составляющей совместимости.

**Материалы и методы.** Используется метод анализа иерархий при решении задачи выявления причин ошибок операторов и нечеткая логика для построения модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин.

**Результаты.** В результате комплексной оценки причин ошибок было установлено, что наибольшим сочетанием критериев обладает группа ошибок, связанная с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации. В разработанной модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации машин в качестве выходной переменной используется риск, а входные переменные – обобщенный показатель сложности алгоритма и уровень квалификации оператора машины.

**Обсуждение и заключение.** Полученная модель позволяет производить первичную оценку влияния человеческого фактора и планирования обслуживания и ремонта, а также использоваться в процессах управления персоналом, например в части направления персонала на обучение. Дальнейшее совершенствование видится в разработке нейро-нечетких *anfys* моделей, которые содержат базу знаний для более эффективной оценки риска по конкретным прецедентам. Также возможно изменение структуры модели в части входных переменных для более корректной оценки риска.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** строительно-дорожные машины, человеческий фактор, учет, модель, риск, оценка.

Поступила 20.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Овсянников В.Е., Васильев В.И. Разработка модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

© Овсянников В.Е., Васильев В.И.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

## DEVELOPMENT OF MODEL FOR HUMAN FACTOR INFLUENCE ASSESSMENT ON CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES OPERATION EFFICIENCY

V.E. Ovsianikov, V.I. Vasiliev  
Kurgan State University,  
Kurgan, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The human factor and the characteristics of construction and road machine operators, such as experience, work experience, professional skills, skill, etc., have a significant impact on the efficiency of equipment operation. The human factor, on average, is the cause of about a third of the failures of construction and road machines. One of the most effective ways out of this situation is to improve the machines from the point of view of ensuring the compatibility of the elements of the human-machine system. The article considers the issues of the engineering and psychological component of compatibility.

**Materials and methods.** The method of analysis of hierarchies is used, when solving the problem of identifying the causes of operators' errors and fuzzy logic, to build a model for assessing the impact of the human factor on the efficiency of construction and road machines.

**Results.** As a result of a comprehensive assessment of the causes of errors, it was found that the largest combination of criteria is a group of errors associated with the peculiarities of the task being performed, as well as the properties of the information processed by a person. The developed model for assessing the influence of the human factor on the efficiency of machine operation uses risk as an output variable, and input variables - a generalized indicator of the complexity of the algorithm and the level of qualification of the machine operator.

**Discussion and conclusions.** The resulting model allows you to make a primary assessment of the impact of the human factor and maintenance and repair planning, as well as be used in personnel management processes, for example, in terms of sending personnel for training. Further improvement is seen in the development of neuro-fuzzy anfys models which provide a knowledge base for more effective risk assessment by specific precedents. The structure of the model in terms of input variables for a more correct risk assessment is also possible to be changed.

**KEYWORDS:** construction and road machines, human factor, accounting, model, risk, assessment.

**Submitted 20.06.2020, revised 23.08.2020.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation:* Ovsianikov V. E., Vasiliev V.I. Development of model for human factor influence assessment on construction and road machines operation efficiency. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

© Ovsianikov V.E., Vasiliev V.I.



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными исследованиями показано, что квалификация, стаж, мастерство и другие характеристики машиниста оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации и производительность машин. На рисунке 1 приведены данные по отказам рукояти экскаватора в зависимости от стажа работы машиниста [1].

Также человеческий фактор является значимой причиной выхода из строя техники. На рисунке 2 приведены данные по влиянию раз-

личных факторов на работоспособность карьерных экскаваторов [1].

Аналогичные данные получаются и для машин других типов [1, 2, 3, 4]. Учитывая усложнение строительно-дорожных машин, внедрение средств автоматизации и возрастающую информационную нагрузку, машиниста можно рассматривать как оператора в системе «человек – машина». Данное обстоятельство требует других подходов как к проектированию новых машин, так и к эксплуатации уже имеющихся.

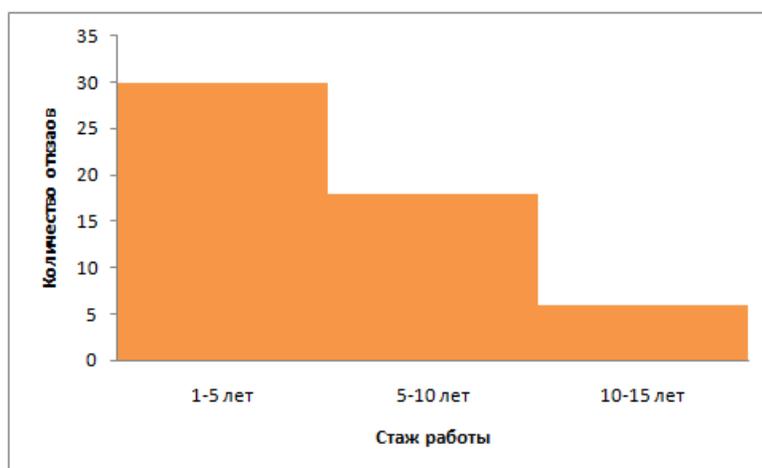


Рисунок 1 – Зависимость отказов рукояти экскаватора в зависимости от стажа работы машинистов

Figure 1 – Dependence of excavator handle failures depending on the drivers' length of service



Рисунок 2 – Факторы, влияющие на работоспособность экскаватора

Figure 2 – Factors affecting on excavator operability

На сегодняшний день выполнен ряд исследований в данной области [1, 2, 3, 4]. В работе [1] представлен процесс человеко-машинного взаимодействия в системе «экскаватор – машинист», при этом машинист рассматривается в качестве звена системы управления. Недостатком такого подхода является то, что он не учитывает индивидуальных особенностей человека-оператора. В работе [2] предлагается использование таких характеристик машиниста, как стаж работы, квалификация и другие для оценки производительности и эффективности работы системы «экскаватор – машинист». В работе [2] предлагается комплекс мероприятий по совершенствованию конструкций экскаваторов с целью обеспечения требований по эргономике. Однако комплексного учета инженерно-психологических аспектов (как составляющей человеческого фактора) на эффективность эксплуатации строительного-дорожного машин нет.

Целью работы является выбор критериев и разработка решений в области учета влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительного-дорожного машин.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Оценку значимости причин ошибок операторов в системах «человек–машина» выполним на основе метода анализа иерархий [5, 6, 7, 8]. В рассматриваемом случае предполагается решение задачи для двух уровней ие-

рархии по выбору из трех альтернатив по трем критериям.

В качестве альтернатив даны группы причин ошибок операторов, приведенные выше. Для анализа сформулированы следующие критерии:

- сложность выявления (К1);
- эффективность устранения (К2);
- частота проявления (К3).

Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 3.

Ошибки первой группы, порожденные особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.).

Ошибки второй группы, вызванные индивидуальными психофизиологическими особенностями человека-оператора (степень активации центральной нервной системы, утомление, психологические характеристики, например мотивация, сопротивление стрессу и т. д.).

Ошибки третьей группы из-за влияния неблагоприятных условий внешней среды (шум, вибрация, освещенность, температура и другие показатели микроклимата, режим труда и пр.).

Расчет проводился в программной среде СППР Выбор, пример диалогового окна приведен на рисунке 4.

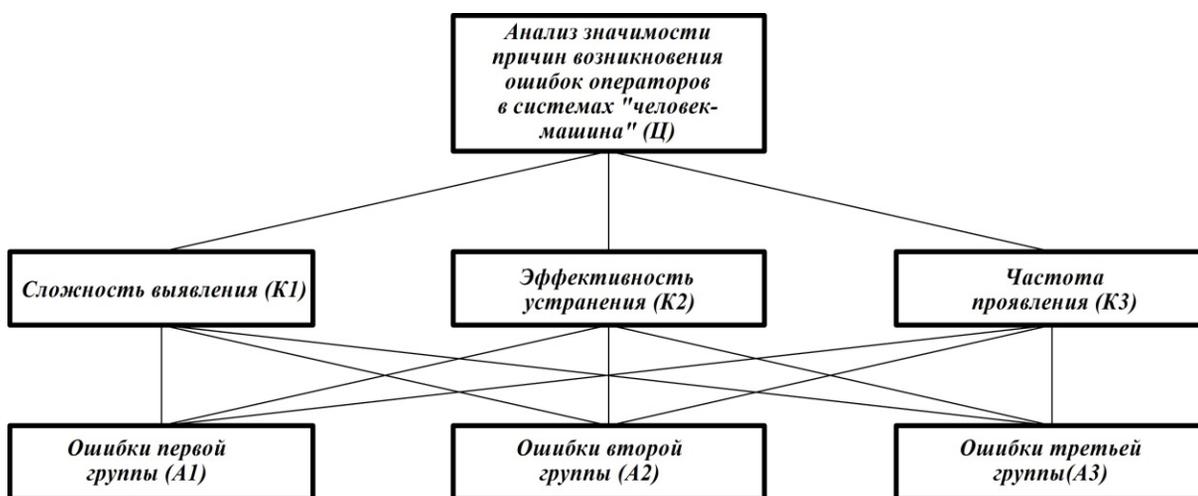


Рисунок 3 – Полная доминантная иерархия

Figure 3 – Complete dominant hierarchy

Получение матрицы парных сравнений

Относительно фактора  
Уровень критериев. Выявляемость  
необходимо провести парное  
сравнение следующих факторов  
уровня  
Уровень альтернатив

№	Фактор	Вес
1	Причина 1	0,775
2	Причина 2	0,178
3	Причина 3	0,047

Матрица парных сравнений:

	1	2	3
1	1	8	9
2	1/8	1	7
3	1/9	1/7	1

Какой из факторов предпочтительнее? Степень предпочтения:

Причина 1  
 Причина 1  
 Одинаково важны  
 Не могу сказать

Абсолютно превосходит  
 Промежуточное значение  
 Значительно превосходит  
 Промежуточное значение  
 Существенно превосходит  
 Промежуточное значение  
 Умеренно превосходит  
 Промежуточное значение  
 Одинаково важны

Просмотр проекта  $\lambda = 3,377$   $ИС = 0,188$   $ОС = 0,325$

Рисунок 4 – Пример расчета

Figure 4 – Calculation example

Принимая во внимание современные тенденции [9, 10, 11, 12, 13], влияние человеческого фактора целесообразно учитывать через риск. Под риском в рассматриваемом аспекте понимается величина, равная произведению вероятности возникновения негативного события и степени тяжести его последствий (финансового ущерба, трудоемкости устранения поломки и т.д.):

$$R=O \cdot D, \quad (1)$$

где  $R$  – величина риска;  $O$  – вероятность возникновения негативного события;  $D$  – степень тяжести последствий.

Управление рисками рассматривается в виде процесса.

При этом процесс включает в себя следующие составляющие (подпроцессы):

1. Идентификация рисков.
2. Оценка рисков.

3. Разработка мероприятий по снижению рисков.

Анализируя практику реализации решений в области управления рисками, следует отметить, что большие затруднения возникают при оценке рисков. Объясняется это тем, что данная задача решается преимущественно на основе использования метода экспертных оценок. Задача же идентификации рисков применительно к рассматриваемой специфике обычно сводится к анализу статистических данных по авариям и катастрофам.

При этом используются различные методики вычисления численного значения уровня риска. Поэтому имеет смысл провести анализ данных подходов и рассмотреть вопрос повышения эффективности оценки риска. Для преодоления указанных выше проблем использовалась нечеткая логика [14, 15, 16, 17, 18]. Общая структура модели приведена на рисунке 5.

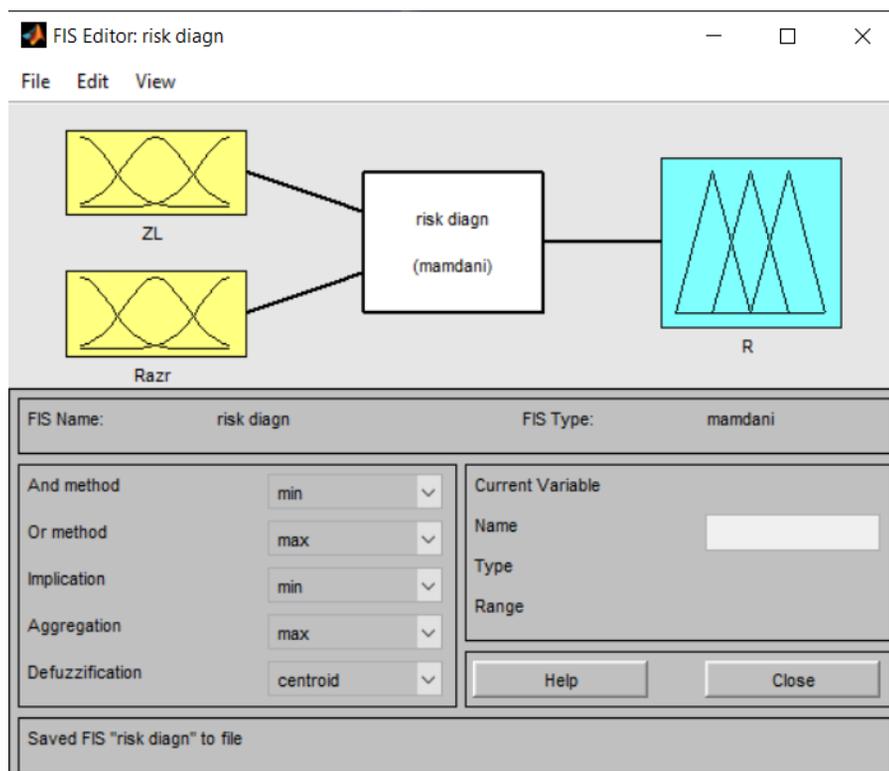


Рисунок 5 – Структура модели

Figure 5 – Model Structure

Тогда выражение (1) принимает вид функции нечеткой логики вида:

$$R=f(ZL,Razr).$$

Функция задается в виде системы правил. Зависимости между значениями выходной и входных переменных представлены в виде логических выражений (рисунок 6).



Рисунок 6 – Система правил

Figure 6 – System of rules

## ОБСУЖДЕНИЕ

В результате комплексной оценки причин ошибок было установлено, что наибольшим сочетанием критериев обладает группа ошибок, связанная с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.), ( рисунок 7).

Таким образом, при оценке риска (как показателя человеческого фактора), необходимо

учитывать параметры алгоритма работы оператора машины.

Поэтому в качестве входных переменных предлагается использовать комплексный показатель сложности алгоритма (как сочетание показателей логической сложности  $L$  и стереотипности  $Z$ ) [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25], а также разряд машиниста как характеристику квалификации. Общий вид модели приведен на рисунке 8.

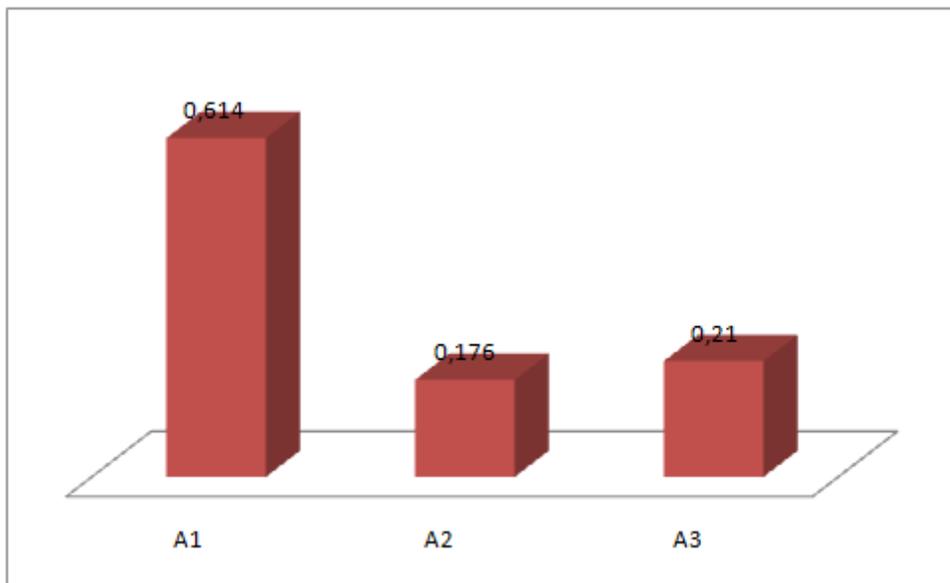


Рисунок 7 – Результаты анализа

Figure 7 – Results of analysis

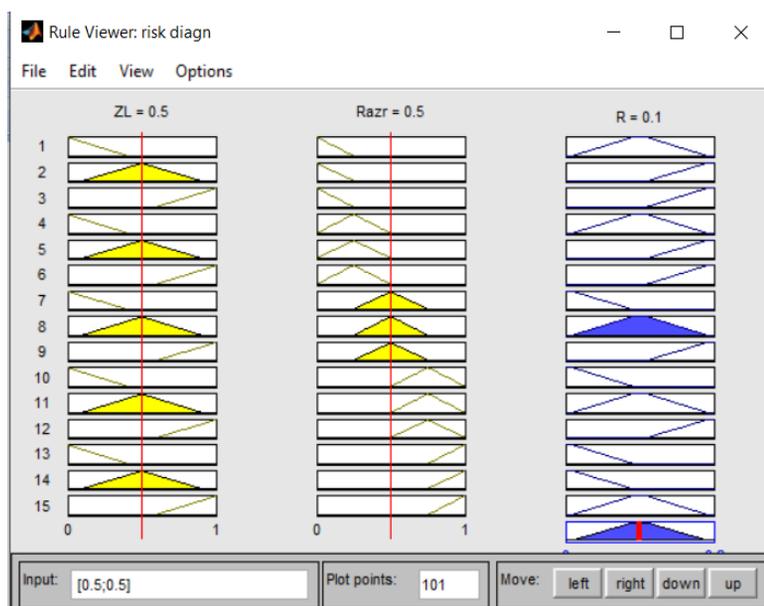


Рисунок 8 – Окно графического интерфейса модели

Figure 8 – Model graphic interface



Рисунок 9 – Алгоритм определения риска

Figure 9 – Algorithm of risk estimating

Процесс оценки величины риска с помощью разработанной модели можно представить в виде алгоритма (рисунок 9).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований причин ошибок операторов строительно-дорожных машин было установлено, что основная причина ошибок связана с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.).

Оценку влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации целесообразно выполнять на основе риск-ориентированного подхода. Для оценки риска разработана модель на основе нечеткой логики. При оценке риска учитываются не только квалификация машиниста, но и особенности управления машиной (за счет комплексного показателя сложности алгоритма).

В качестве направления для развития разработанной модели оценки человеческого фактора можно рассмотреть использование экспертных систем. Как показывает практика, лучшие результаты дает совместное использование логического блока, основанного на нечеткой логике и нейросетевой базы знаний (anfys модель). Такие модели обладают свойством самообучения и дают возможность более точно определять величину риска.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тер-Мхитаров М.С., Мухин В.Д. Передаточные функции человека-оператора в режиме обработки заданной ошибки при управлении различным количеством координат // Проблемы инженерной психологии. 1971. С. 52-65.
2. Великанов В.С. Комплексный подход по совершенствованию эргономических показателей карьерных экскаваторов. Магнитогорск, МГТУ, 2011. 85 с.
3. Абдрахманов А.А., Великанов В.С., Сафин Г.Г. Квалификация персонала как инструмент в повышении эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов // Современные наукоемкие технологии. 2015. №12. С. 193-198.
4. Агеев Е.В., Агеева Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных средств // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. №3. С. 503-508.
5. Chapman S.N., Just-in-time supplier inventory: An empirical implementation Model // International Journal of Production Research. 1993. Pp. 329-334
6. Toloo M. A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption [Text] // ScienceDirect. 2016. Pp. 175-183.
7. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York, St. Louis, 1980
8. Schneeweib C. Planung, Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin, 1991.
9. Овсянников В.Е. и др. Совершенствование управления рисками в сфере перевозки нефтепродуктов // Известия ВУЗОВ. Нефть и газ. 2020. №3. С. 120-128.
10. Баранов Ю.Н., Трясцын А.П. Анализ и оценка риска при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом в АПК // Вестник ОрелГАУ. 2010. №5. С. 29-33.
11. Коротченко Е.А., Петрунина Ю.Л. Метод оценки рисков «Критерии. События. Правила» // International Journal of Open Information Technologies. ISSN: 2307-8162 .Vol. 4, no. 5, 2016.
12. Зорин В.А., Ростамиан М. Оценка рисков легковых автомобилей с учетом условий эксплуатации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №1. С. 34-41.
13. Зорин В.А. Управление рисками при проектировании, производстве и эксплуатации СДМ // Механизация строительства. 2016. № 10. С. 45-48.
14. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Смоленск, СФРУК, 2013. 153 с.
15. Mamdani E.H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. Pp. 1-13.
16. Bergmann M. An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic. Semantics, Algebras and Derivation Systems // Cambridge University Press. 2008.
17. Zadeh L.A. Fuzzy set // Information and control. 1965. № 8. 338 p.
18. Mamdani E. A. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Trans. Computers. 1977. Vol. 26, № 12. Pp. 1182-1191.
19. Овсянников В.Е., Васильев В.И. Обеспечение совместимости элементов системы «человек-машина» на этапе проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта. Курган, изд-во КГУ, 2017. 79 с.
20. Vogt Andrew, Bared Joe. Accident models for two-lane rural segments and intersections // Transportation Research Record. 1998. № 1635. Pp. 18-29.
21. Akimova A.Y., Oboznov A.A., Akimova A.I., Razina V.V. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object // Experimental Psychology. Pp. 52-58.
22. Wickens C. D. Engineering Psychology and Human Performance // Transport Research Laboratory. 1992. Vol.3. no. 4 Pp. 124-132.

23. Stanton, N. A. Human Factors in Nuclear Safety. Taylor & Francis // London. SENTENTIA. European Journal of Humanities and Social Sciences. 2014. No. 4.

24. Sanders, M. S. & McCormick, E. J. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill // New York. Taylor & Francis, PP. 383-394.

25. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Jarov S.P, Deneko M.A. Ensuring road safety on the basis of engineering-psychological evaluation of drivers labour // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Pp. 325-338.

## REFERENCES

1. Ter-Mkhitarov M.S., Mukhin V.D. Peredatochnye funktsii cheloveka-operatora v rezhime otrabotki zadannoy oshibki, pri upravlenii razlichnym kolichestvom koordinat [Transfer functions of a human operator in the mode of working out a given error, when controlling a different number of coordinates]. *Problems of engineering psychology*. 1971. 52-65. (in Russian)

2. Velikanov, V.S. Kompleksny jpodhod po sovershenstvovaniyu ergonomicheskikh pokazatelej kar'ernyh ekskavatorov [A comprehensive approach to improving the ergonomic indicators of quarry excavators]. Magnitogorsk, MSTU, 2011. 85 p. (in Russian)

3. Abdrakhmanov A.A., Velikanov V.S., Safin G.G. Kvalifikacijapersonala kak instrument v povyshenii effektivnosti ekspluatatsii kar'ernyh ekskavatorov [Personnel qualification as a tool in improving the efficiency of mine excavators]. *Modern knowledge-intensive technologies*. 2015; 12: 193-198. (in Russian)

4. Ageev E.V., Ageeva E.V. Povysenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennyh transportnyh sredstv [Improving the quality of repair and restoration of parts of modern vehicles]. *Izvestia Tula State University*. Technical sciences. 2011; 3: 503-508. (in Russian)

5. Chapman S.N., Just-in-time supplier inventory: An empirical implementation Model. *International Journal of Production Research*. 1993. 329-334.

6. Toloo M., A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption. *ScienceDirect*. 2016. 175-183.

7. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York; St. Louis, 1980.

8. Schneeweib C. Planung, Systemanalytische und entscheidungstheoretische. Grundlagen, Berlin, 1991.

9. Ovsyannikov V.E. and others. Sovershenstvovanie upravleniya riskami v sfere perevozki nefteproduktov [Improving risk management in the field of transportation of petroleum products]. *News of UZU-ZOV. Oil and gas*. 2020; 3: 120-128. (in Russian)

10. Baranov Yu.N., Tryaktsyn A.P. Analysis and risk assessment in the transport of dangerous goods by road in the agro-industrial complex [Analiz i ocenka riska pri perevozke opasnyh gruzov avtomobil'nym-transportom v APK] // Bulletin of OrelGAU, 2010. No. 5. S. 29-33. (in Russian)

11. Korotchenko E.A., Petrunina Yu.L. Metod ocenki riskov "Kriterii. Sobytiya. Pravila" [Criteria. Events. Rules risk assessment method]. *International Journal of Open Information Technologies*. ISSN: 2307-8162. 2016; 4(5). (in Russian)

12. Zorin V.A., Rostamian M. Ocenka riskov legkovykh avtomobilej s uchedom uslovij ekspluatatsii [Risk assessment of cars taking into account operating conditions]. *Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University*. 2020; 1: 34-41. (in Russian)

13. Zorin V.A. Upravlenie riskami pri proektirovanii, proizvodstve i ekspluatatsii SDM [Risk management during design, production and operation of SDM]. *Mechanization of construction*. 2016; 10: 45-48. (in Russian)

14. Uskov A.A. Sistemy s nechetkimi modeljami ob'ektov upravlenija [Systems with fuzzy models of control objects]. Smolensk, SFRUK, 2013. 153 p. (in Russian)

15. Mamdani E.H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1975; 7: 1-13.

16. Bergmann M. An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic. Semantics, Algebras and Derivation Systems. *Cambridge University Press*. 2008.

17. Zadeh L.A. Fuzzy set. *Information and control*. 1965; 8: 338.

18. Mamdani E. A. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Trans. Computers*. 1977; 26 (12): 1182-1191.

19. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I. Obespechenie sovместимости elementov sistemy «chelovek-mashina» na etape proektirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatij avtomobil'nogo transporta [Ensuring the compatibility of elements of the man-machine system at the stage of designing technological equipment of road transport enterprises]. Kurgan, publishing house of KSU, 2017. 79. (in Russian)

20. Vogt Andrew, Bared Joe. Accident models for two-lane rural segments and intersections. *Transportation Research Record*. 1998; 1635: 18-29.

21. Akimova A.Y., Oboznov A.A., Akimova A.I., Razina V.V. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object. *Experimental Psychology*. 2013; 6(4): 52-58.

22. Wickens C. D. Engineering Psychology and Human Performance. *Transport Research Laboratory*. 1992; 3 (4): 124-132.

23. Stanton, N. A. Human Factors in Nuclear Safety. Taylor & Francis. London. SENTENTIA. European Journal of Humanities and Social Sciences. 2014; 4.

24. Sanders, M. S. & McCormick, E. J. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill. New York. Taylor & Francis. 383-394.

25. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Jarov S.P, Deneko M.A. Ensuring road safety on the basis of engineering-psychological evaluation of drivers labour. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. 325-338.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Овсянников Виктор Евгеньевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: vik9800@mail.ru).*

*Васильев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru).*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Victor E. Ovsiannikov – Cand. of Sci., Associate Professor of the Production Processes Automation Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, Sovetskaia St. 63, p. 4, e-mail: vik9800@mail.ru).*

*Valery I. Vasiliev – Dr. of Sci., Professor of the Motor Transport Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, Sovetskaia St. 63, p. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru).*