

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629473>

Оригинальное исследование



Снижение влияния человеческого фактора при эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения

В.Е. Овсянников¹, А.С. Губенко¹, Д.П. Ильященко^{2, 3}, Е.В. Верхотурова⁴

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация;

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Российская Федерация;

³ Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Российская Федерация;

⁴ Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Интенсификация сельскохозяйственной отрасли требует повышения эффективности всех протекающих в этой сфере процессов. В условиях интенсификации возрастает взаимосвязь и взаимообусловленность всех факторов сельскохозяйственного производства, среди которых особое значение имеет человеческий фактор. В статье рассмотрены вопросы применения процессного подхода, экспертной системы, а также нейро-нечёткой модели для решения задачи снижения влияния человеческого фактора для повышения эффективности эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения.

Цель работы — снижение влияния человеческого фактора для повышения эффективности эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения.

Методы. В работе был применен процессный подход в рамках методологии всеобщего управления качеством, экспертная система, основанная на искусственном интеллекте, включающая методы инженерной психологии и нечеткой логики.

Результаты. В результате исследований установлено, что более 50% дорожно-транспортных происшествий (ДТП) прямо или косвенно приходится на человеческий фактор, при этом более 60 % ДТП приходится на водителей, которые обладают высоким уровнем агрессивного и рискованного поведения, при этом доля таких водителей составляет около 30% от общего числа. Разработана комплексная процессная модель, программные средства для оценки составляющих риска, связанного с человеческим фактором, а также экспертная система оценки рисков на качественном уровне. Разработанная модель экспертной системы позволяет оценивать риски с погрешностью, не превышающей 15% (по отношению к оценке, проводимой группой экспертов).

Заключение. Новизна полученных результатов обусловлена комплексным учетом технических и людских аспектов обеспечения эффективности эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения, а также применением современного аппарата, основанного на искусственном интеллекте, что позволяет перестраивать модель под конкретные нужды.

Ключевые слова: машины сельскохозяйственного назначения; человеческий фактор; экспертная система; процессный подход; нечёткая логика.

Как цитировать:

Овсянников В.Е., Губенко А.С., Ильященко Д.П., Верхотурова Е.В. Снижение влияния человеческого фактора при эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 5. С. 663–672. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629473>

Рукопись получена: 28.03.2024

Рукопись одобрена: 12.12.2024

Опубликована online: 12.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629473>

Original Study Article

Reducing the influence of the human factor when operating agricultural machinery

Viktor E. Ovsyannikov¹, Arseniy S. Gubenko¹, Dmitry P. Il'yaschenko^{2, 3}, Elena V. Verkhoturova⁴¹ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation;² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation;³ Priazov State Technical University, Mariupol, Russian Federation;⁴ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Intensification of the agricultural industry requires increasing the efficiency of all processes occurring in this area. In conditions of intensification, the interconnection and interdependence of all factors of agricultural production increases, among which the human factor is of particular importance. The article discusses the use of a process approach, an expert system, as well as a neuro-fuzzy model to solve the problem of reducing the influence of the human factor to increase the efficiency of operation of agricultural machines.

AIM: Reducing the influence of the human factor to improve the operating efficiency of agricultural machines.

METHODS: The work used a process approach within the framework of the methodology of total quality management, an expert system based on artificial intelligence, including methods of engineering psychology and fuzzy logic.

RESULTS: As a result of research, it has been established that more than 50% of all emergency situations are directly or indirectly due to the human factor, while more than 60% of emergency situations occur with drivers who have a high level of aggressive and risky behavior, while the share of such drivers is about 30% of the total number. A comprehensive process model, software tools for assessing the components of risk associated with the human factor, as well as an expert system for assessing risks at a qualitative level have been developed. The developed expert system model makes it possible to assess risks with an error not exceeding 15% (relative to the assessment carried out by a group of experts).

CONCLUSION: The novelty of the results obtained is due to the comprehensive consideration of the technical and human aspects of ensuring the efficient operation of agricultural machines, as well as the use of modern apparatus based on artificial intelligence, which allows the model to be rebuilt to suit specific needs.

Keywords: agricultural machines; human factor; expert system; process approach; fuzzy logic.

To cite this article:

Ovsyannikov VE, Gubenko AS, Il'yaschenko DP, Verkhoturova EV. Reducing the influence of the human factor when operating agricultural machinery. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(5):663–672. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629473>

Received: 28.03.2024

Accepted: 12.12.2024

Published online: 12.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях активного импортозамещения особенно остро стоит вопрос о повышении эффективности производства и сокращении затрат во всех отраслях промышленности. Сельскохозяйственная отрасль не является исключением, так как основная её задача — интенсификация производства в максимально быстрые сроки с максимально возможными низкими затратами и вложениями.

В условиях интенсификации возрастает взаимосвязь и взаимообусловленность всех факторов сельскохозяйственного производства, среди которых основным является повышение интенсивности (эффективности) использования действующего производственного потенциала путем уменьшения различных потерь в процессе производства и улучшения использования материальных и трудовых ресурсов и т. д. [1, 2].

На сегодняшний день, можно отметить два аспекта, которые существенно влияют на особенности эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения: с одной

стороны особенности выполнения сельхозработ, связанные с весьма ограниченными сроками их проведения (привязка к срокам уборки урожая и т. д.) ставят задачу обеспечения максимальной технической готовности парка техники именно в этот период. Вторым обстоятельством является то, что внедрение информационных технологий и современных бортовых систем коренным образом меняет взаимодействие между человеком и машиной. Таким образом, современная машина представляет собой человеко-машинную систему, структуру которой можно показать в виде схемы на рис. 1.

В данной схеме одно из центральных мест занимает человек-оператор, т.к. он в исследуемом случае выполняет несколько важнейших функций:

- производит обработку поступающей информации от датчиков через индикаторы;
- принимает решения по выбору вида и степени управляющего воздействия;
- реализует (или частично реализует) управляющее воздействие;

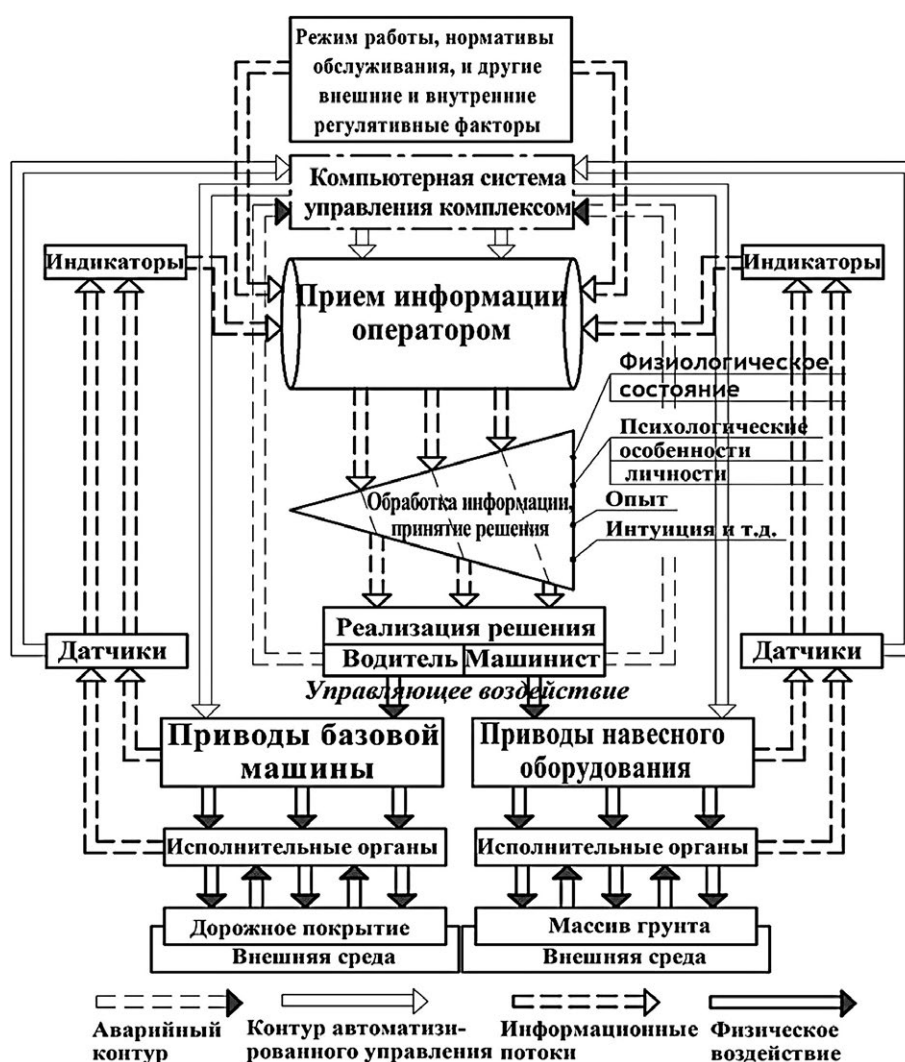


Рис. 1. Структурная схема человеко-машинной системы.

Fig. 1. Block diagram of the man-machine system.

- производит оценку эффективности выполненных управляющих воздействий.

В работах [3–5] была проведена оценка роли и места человеческого фактора среди причин ДТП на транспорте (рис. 2).

Как можно видеть из рис. 2, более половины причин ДТП, так или иначе обусловлены именно человеческим фактором. Данные результаты для сельскохозяйственных машин будут отличаться незначительно.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка решений в области обеспечения требуемого качества операторов машин сельскохозяйственного назначения.

МЕТОДЫ

Понятие «качество» носит комплексный характер и может быть оценено различными показателями: надежность, мастерство, профессионализм и т.д. Решение поставленной задачи эффективно реализовать на основе

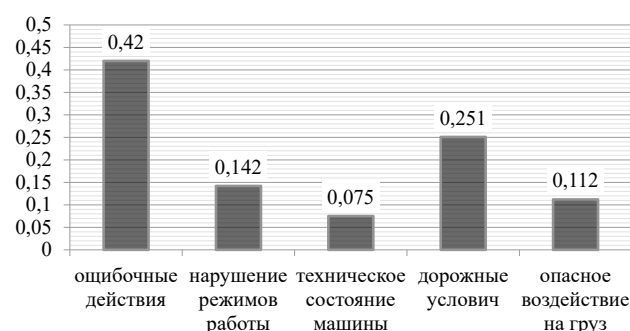


Рис. 2. Причины ДТП.

Fig. 2. Causes of road traffic accidents.

применения процессного подхода [6–10]. На основе последних тенденций в данной сфере оценку целесообразно выполнять через оценку рисков [11–12].

На рис. 3 приведена процессная модель, иллюстрирующая основные процедуры, связанные с реализацией риск-ориентированного подхода, которые включают вопросы выявления (идентификации) рисков, их оценки и действий по их нейтрализации.

Таким образом, для решения поставленных в работе задач необходимо разработать инструменты для оценки рисков. Учитывая неопределенность исходных данных, решение целесообразно реализовать в виде экспертной системы, основанной на искусственном интеллекте и методов нечёткой логики [13–17]. Структура системы приведена на рис. 4.

Факторы целесообразно задавать множествами следующего вида:

$$F1(\text{уровень здоровья}) = \\ = \{\text{хороший, удовлетворительный, плохой}\}$$

$$F2(\text{уровень агрессии}) = \\ = \{\text{низкий, средний, высокий}\}$$

$$F3(\text{уровень рискованного поведения}) = \\ = \{\text{низкий, средний, высокий}\}$$

...

$$F_n(n \text{ факто}) = \{\dots\}$$

Также были применены прикладные программные средства для оценки ряда факторов (уровня агрессии и адаптации (агрессивное поведение), степени готовности к рискованным ситуациям (рискованное поведение)), связанных с рисками в части человеческого фактора [18–20]. Пример интерфейса программы приведен на рис. 5.

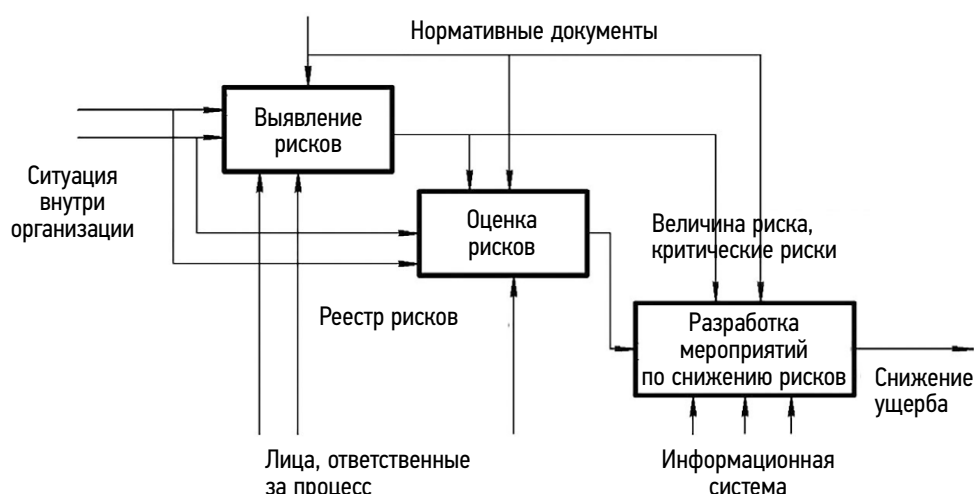


Рис. 3. Процессная модель.

Fig. 3. Process model.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначальная апробация экспертной системы и программного средства проводилась на предприятии ООО «Мобилайн» путём индивидуального тестирования водителей для выявления факторов «уровень агрессии» и «склонность к рисковому поведению». Было опрошено более 100 водителей, результаты статистической обработки тестов приведены на рис. 6.

После получения статистической информации, были выполнены исследования по верификации результатов. Для оценки состоятельности подхода проводилась оценка количества нарушений, которые допускаются водителями и результатов тестирования. Исследования



Рис. 4. Структура экспертной системы для оценки рисков влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации сельскохозяйственных машин.

Fig. 4. The structure of an expert system for assessing the risks of the influence of the human factor on the operating efficiency of agricultural machines.

Рис. 5. Пример интерфейса программного средства для факторов риска.

Fig. 5. Example of a software interface for risk factors.

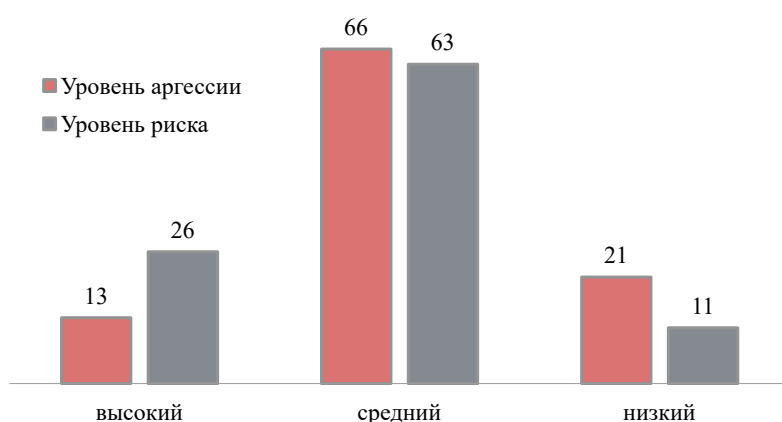


Рис. 6. Результаты исследований по факторам «уровень агрессии» и «уровень риска».

Fig. 6. Results of studies on the factors "level of aggression" and "level of risk".

проводились сопоставлением данных по тестированию в разработанных прикладных программных средствах и данных по нарушениям. Данные по нарушениям считывались из тахографов, установленных на транспортном средстве. В результате оценки было установлено, что водители, обладающие высоким уровнем агрессии и склонности к риску более чем на 30% склонны к нарушению режимов труда (рис. 7).

Анализируя данные на рис. 6–7, можно сказать, что часть факторов риска могут быть оценены инструментальными методами. Однако сделать это для всех факторов невозможно в силу неопределённости исходных данных и качественного характера факторов [20]. В этом случае необходимо использовать модель нейро-нечёткой логики, пример которой приведен на рис. 8–9.

На основе комплекса исходных множеств была построена нейро-нечёткая модель. Результат тестирования точности модели приведен на рис. 10.

Производственная апробация полученной методики производилась в ООО «Региональная транспортная компания». Были опрошены 30 водителей машин сельскохозяйственного назначения. В ходе исследований были выявлены 10 водителей с оптимальными кондициями и 7 водителей с негативным соотношением агрессии и риска. Далее при планировании перевозок в течение 3 месяцев дальние маршруты (более 70 км) отдавались водителям из второй группы, а затем для аналогичного периода — водителям из первой группы. В ходе анализа данных по расходу топлива и количества нарушений, снятых с тахографа установлено,

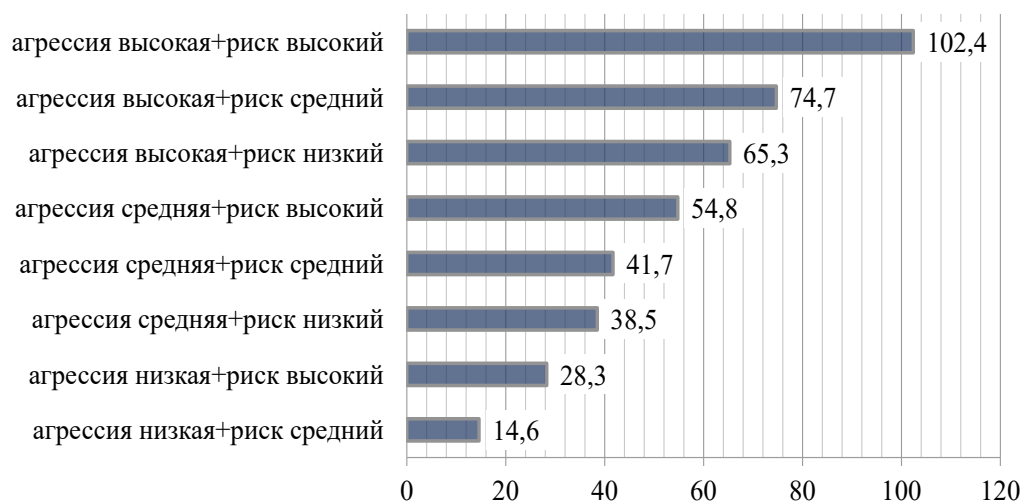


Рис. 7. Статистика по нарушениям.

Fig. 7. Statistics on violations.

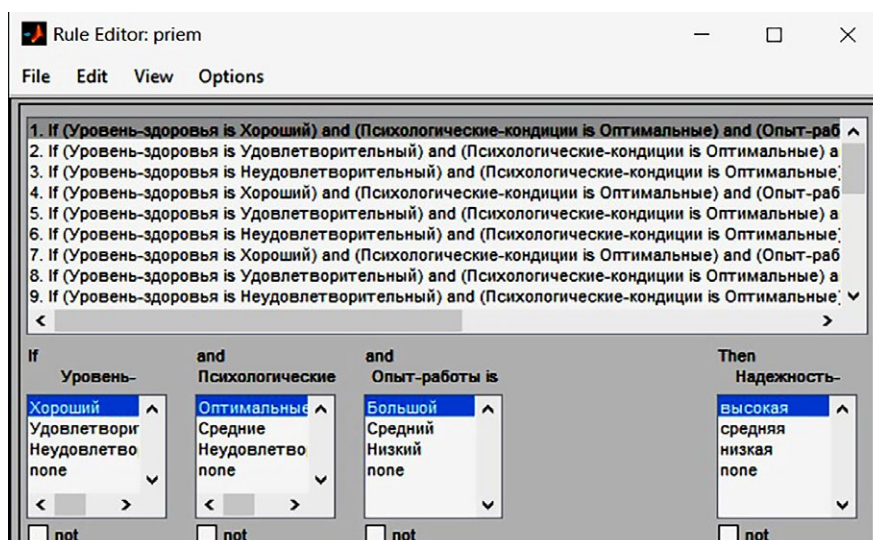


Рис. 8. Задание системы правил.

Fig. 8. Setting a system of rules.

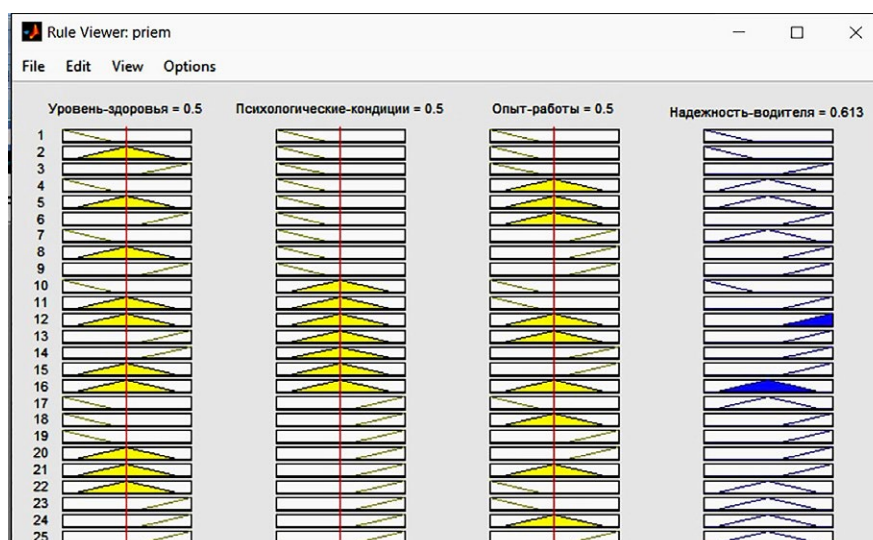


Рис. 9. Пример оценки параметров.

Fig. 9. Example of parameter estimation.

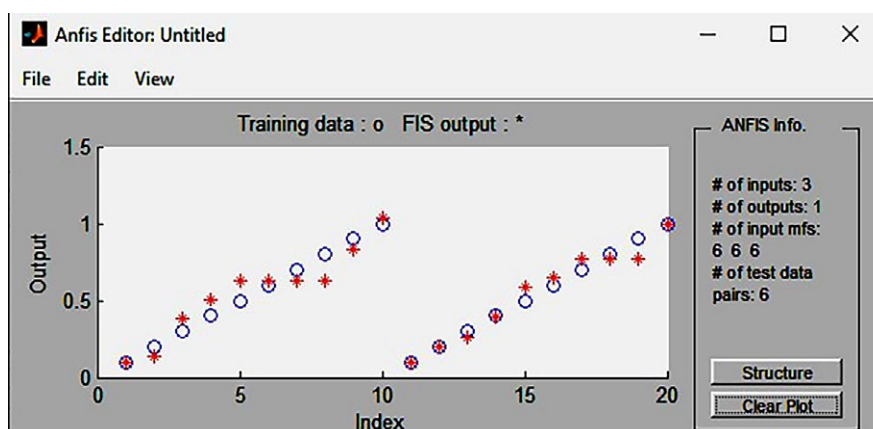


Рис. 10. Тестирование точности модели.

Fig. 10. Model accuracy testing.

что водители с оптимальными кондициями допускают в 1,7 раза меньше нарушений режима и экономия топлива составила 15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований можно сделать ряд выводов:

1. На долю человеческого фактора приходится более 50% причин ДТП.
2. Снизить влияние человеческого фактора для повышения эффективности эксплуатации машин сельскохозяйственного назначения можно только посредством комплексного учета всех факторов риска.
3. Учет факторов риска нужно реализовывать на основе процессного подхода.
4. Часть факторов риска, связанных с рассматриваемой темой, можно измерять инструментально.
5. Более 60% ДТП приходится на водителей, которые обладают высоким уровнем агрессивного и рискованного поведения, доля которых составляет около 30% от общего числа водителей.
6. Имеются факторы, которые заданы в неявном виде, для их оценки нужно использовать нечеткую логику.
7. Разработанная модель экспертной системы оценки риска имеет погрешность не более 15%, при этом она обладает гибкой структурой, что позволяет добавлять в нее ранее неучтенные факторы.
8. Производственная апробация модели экспертной системы показала, что водители с оптимальными кондициями допускают в 1,7 раза меньше нарушений, а экономия топлива при этом составляет 15%.
9. Рассматриваемый подход в целом можно использовать в рамках систем менеджмента качества крупных агрохолдингов с вертикально интегрированной структурой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Е. Овсянников — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи; А.С. Губенко — выполнение экспериментов, сбор и анализ данных, создание изображений, подготовка и написание текста статьи; Д.П. Ильященко — сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; Е.В. Верхотурова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание и редактирование текста статьи, создание и редактирование изображений, формирование финального текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.E. Ovsyannikov — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text of the manuscript; A.S. Gubenko — performing experiments, collecting and analyzing data, creating images, preparing and writing the text of the manuscript; D.P. Il'yaschenko — collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of manuscript; E.V. Verkhoturova — literature review, collection and analysis of literary sources, writing and editing the text of the manuscript, creating and editing images, forming the final text of the manuscript. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синяков Д.А. Об интенсификации сельского хозяйства в современных условиях // Актуальные вопросы экономических наук. 2010. № 15-2. С.214–219.
2. Поливаев О.И., Пиляев С.Н., Болотов Д.Б. Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов работающих с упругодемпфирующими приводами ведущих колес // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 6. С. 76–81. doi: 10.31992/0321-4443-2021-6-76-81
3. Васильев В.И., Овсянников В.Е., Ширяева А.Н. Разработка модели обеспечения надежности водителей на основе процессного подхода // Вестник УрГУПС. 2020. № 1. С. 69–75. doi: 10.20291/2079-0392-2020-1-69-74
4. Glendon A.I., Clarke S., McKenna E. Human safety and risk management. New York: CRC Press, 2016.
5. Zhou A., Wang K., Zhang H. Human factor risk control for oil and gas drilling industry // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. Vol. 159. P. 581–587. doi: 10.1016/j.petrol.2017.09.034
6. Hoyle D. ISO 9000 Quality Systems Handbook. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann Publishers, 2001.
7. Paulova I., Vanova J., Rusko M., Hekelova E., et al. Knowledge Managements for Improvement the Competitiveness of Organization In: Proceedings of the 28th International DAAAM Symposium 2017. 2017. P. 1221–1226. doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.170
8. Krajnc M. With 8D method to excellent quality // Journal of Universal Excellence. 2012. Vol. 1, N 3. P. 118–129.
9. Bevilacqua M., Ciarapica F.E. Human factor risk management in the process industry: A case study // Reliability Engineering & System Safety. 2018. Vol. 169. P. 149–159. doi: 10.1016/j.res.2017.08.013
10. Neumann W.P., Winkelhaus S., Grosse E.H., Glock C.H. Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development // International journal of production economics. 2021. Vol. 233. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107992
11. Guastello S.J. Human factors engineering and ergonomics: A systems approach. New York: CRC Press, 2023.
12. Stevenson M.T., Doleac J.L. Algorithmic risk assessment in the hands of humans // SSRN Electronic Journal. 2022. N 12853. P.1–71.
13. Bergmann M. An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic: Semantics, Algebras and Derivation Systems. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. doi: 10.1017/CBO9780511801129
14. Zadeh L.A. Fuzzy set // Information and control. 1965. N 8. P. 338–353.
15. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Trans. Computers. 1977. Vol. C26. N 12. P. 1182–1191. doi: 10.1109/TC.1977.1674779
16. Goli A., Tirkolaee E.B., Aydin N.S. Fuzzy integrated cell formation and production scheduling considering automated guided vehicles and human factors // IEEE transactions on fuzzy systems. 2021. Vol. 29. N 12. P. 3686–3695. doi: 10.1109/TFUZZ.2021.3053838
17. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1999. Vol. 51. P. 135–147. doi: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2
18. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ РФ № 2020660917 / 15.09.2020. Ширяева А.Н., Некрасов Р.Ю., Ишкина Е.Г., Калаев А.П.; Выявление агрессивного поведения водителей. EDN: RWVWKN
19. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ РФ № 2020661152 / 18.09.2020. Овсянников В.Е., Калаев А.П., Ширяева А.Н., Некрасов Р.Ю., Путилова У.С. Выявление рискованного поведения водителей. EDN: KNSXUT
20. Akimova A.Y., Oboznov A.A., Akimova A.I., et al. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object // Experimental Psychology. 2013. Vol. 6. N 4. P. 52–58.

REFERENCES

1. Sinyakov DA. On the intensification of agriculture in modern conditions. *Current issues of economic sciences*. 2010;15-2:214–219 (In Russ.)
2. Polivaev OI, Pilyaev SN, Bolotov DB. Efficiency of use of machine and tractor units operating with elastic damping drives of driving wheels. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2021;88(6):76–81 (In Russ.) doi: 10.31992/0321-4443-2021-6-76-81
3. Vasiliev VI, Ovsyannikov VE, Shiryayeva AN. Razrabotka modeli obespecheniya nadezhnosti voditelei na osnove protsessnogo podkhoda. *Vestnik UrGUPS*. 2020;(1):69–75 (In Russ.) doi: 10.20291/2079-0392-2020-1-69-74
4. Glendon AI, Clarke S, McKenna E. *Human safety and risk management*. New York: Crc Press; 2016.
5. Zhou A, Wang K, Zhang H. Human factor risk control for oil and gas drilling industry. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017;159:581–587. doi: 10.1016/j.petrol.2017.09.034
6. Hoyle D. *ISO 9000 Quality Systems Handbook*. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann Publishers; 2001.
7. Paulova I, Vanova J, Rusko M, et al. Knowledge Managements for Improvement the Competitiveness of Organization. In: *Proceedings of the 28th International DAAAM Symposium 2017*. 2017:1221–1226. doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.170
8. Krajnc M. With 8D method to excellent quality. *Journal of Universal Excellence*. 2012;1(3):118–129.
9. Bevilacqua M, Ciarapica FE. Human factor risk management in the process industry: A case study. *Reliability Engineering & System Safety*. 2018;169:149–159. doi: 10.1016/j.ress.2017.08.013
10. Neumann WP, Winkelhaus S, Grosse EH, Glock CH. Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development. *International journal of production economics*. 2021;233. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107992
11. Guastello SJ. *Human factors engineering and ergonomics: A systems approach*. New York: CRC Press; 2023.
12. Stevenson MT, Doleac JL. Algorithmic risk assessment in the hands of humans. *SSRN Electronic Journal*. 2022;12853:1–71.
13. Bergmann M. *An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic: Semantics, Algebras and Derivation Systems*. Cambridge: Cambridge University Press; 2008. doi: 10.1017/CBO9780511801129
14. Zadeh LA. Fuzzy set. *Information and control*. 1965;8: 338–353.
15. Mamdani EH. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Trans. Computers*. 1977;C26(12):1182–1191. doi: 10.1109/TC.1977.1674779
16. Goli A, Tirkolaee EB, Aydin NS. Fuzzy integrated cell formation and production scheduling considering automated guided vehicles and human factors. *IEEE transactions on fuzzy systems*. 2021;29(12):3686–3695. doi: 10.1109/TFUZZ.2021.3053838
17. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1999;51:135–147. doi: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2
18. Certificate of registration of the computer program RUS № 2020660917 / 15.09.2020. Ovsyannikov VE, Shiryayeva AN, Nekrasov RYu, et al. Identification of aggressive behavior of drivers. (In Russ.) EDN: RWVWKN
19. Certificate of registration of the computer program № RU2020660917/ 18.09.2020. Ovsyannikov VE, Kalaev AP, Shiryayeva AN, et al. Identification of drivers' risk behavior. (In Russ.) EDN: KNSXUT
20. Oboznov AA, Nazin VA, Gutsykova SV, Mironova AS. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object. *Eksperimental'naâ psihologîâ = Experimental Psychology*. 2013;6(4):52–58. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Верхотурова Елена Викторовна,

канд. хим. наук, доцент,
доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика»;
адрес: Российская Федерация, 664074, Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 83;
ORCID: 0000-0002-7733-7328;
eLibrary SPIN: 3508-6556;
e-mail: vev.irk@mail.ru

Овсянников Виктор Евгеньевич,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Технология машиностроения»;
ORCID: 0000-0002-7193-7197;
eLibrary SPIN: 4711-3250;
e-mail: vik9800@mail.ru

Губенко Арсений Сергеевич,

ассистент кафедры «Технология машиностроения»;
ORCID: 0009-0007-3108-3127;
eLibrary SPIN: 9189-5161;
e-mail: gubenkoas@tyuiu.ru

AUTHORS' INFO

* Elena V. Verkhoturova,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Associate Professor of the Engineering and computer graphics
Department;
address: 83 Lermontov street, 664074 Irkutsk, Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-7733-7328;
eLibrary SPIN: 3508-6556;
e-mail: vev.irk@mail.ru

Viktor E. Ovsyannikov,

Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Mechanical Engineering Technology Department;
ORCID: 0000-0002-7193-7197;
eLibrary SPIN: 4711-3250;
e-mail: vik9800@mail.ru

Arseniy S. Gubenko,

Assistant of the Mechanical Engineering Technology Department;
ORCID: 0009-0007-3108-3127;
eLibrary SPIN: 9189-5161;
e-mail: gubenkoas@tyuiu.ru

Ильященко Дмитрий Павлович,
канд. техн. наук, доцент,
доцент отделения электронной инженерии;
ORCID: 0000-0003-0409-8386;
eLibrary SPIN: 6873-1991;
e-mail: mita8@rambler.ru

Dmitry P. Il'yaschenko,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Electronic Engineering Department;
ORCID: 0000-0003-0409-8386;
eLibrary SPIN: 6873-1991;
e-mail: mita8@rambler.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author