

# МАШИНОСТРОЕНИЕ MACHINE BUILDING



УДК 614.8: [377+621.873+004.032.26]

Научная статья

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-70-79>



## Влияние компетенций специалистов грузоподъемных кранов на вероятность возникновения аварийных ситуаций

В.В. Егельский<sup>ID</sup>, Н.Н. Николаев<sup>ID</sup>, Е.В. Егельская<sup>ID</sup> ✉, А.А. Короткий<sup>ID</sup>

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ [egelskaya72@mail.ru](mailto:egelskaya72@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Эксплуатация грузоподъемных кранов является неотъемлемой частью производственных процессов. Для безаварийной работы этих механизмов необходимы определенные знания, умения и навыки, которыми должны обладать в том числе и специалисты, осуществляющие организационные и контролирующие функции на объектах, где задействованы такие краны. И здесь существует важная проблема — отсутствие обоснованной связи между уровнем освоения профессиональных компетенций и возможными аварийными ситуациями, а также различными инцидентами при эксплуатации грузоподъемных кранов. Авторы данного исследования пытаются решить ее. Их цель в связи с этим — посредством применения нейронных сетей дать оценку вероятности возникновения аварийной ситуации при эксплуатации грузоподъемных кранов в зависимости от уровня профессиональных компетенций специалистов.

**Материалы и методы.** Для обучения нейронных сетей в качестве исходных данных использовались компетенции работников по эксплуатации грузоподъемных кранов (знания, умения и трудовые обязанности), предусмотренные профессиональным стандартом «Специалист по эксплуатации подъемных сооружений». На их основе был составлен перечень возможных инцидентов. Для целей обучения сгенерированы результаты аттестации 200 условных работников. При генерации использовался метод Монте-Карло, и данные выведены в таблицы Excel. Обучение нейронных сетей производилось на языке Python 3.10 в среде разработки PyCharm. При обучении нейронных сетей использовались открытые библиотеки Keras и TensorFlow, а также вспомогательные библиотеки представления и обработки данных (Pandas, NumPy, Scikit-learn).

**Результаты исследования.** В результате получен инструмент — нейронная сеть в виде исполняемого программного кода, позволяющая выполнить оценку вероятности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации грузоподъемных кранов посредством анализа степени владения специалистами профессиональными компетенциями. Предлагается осуществить внедрение технологий искусственного интеллекта на базе нейронных сетей с целью дать оценку знаний, умений и навыков специалистов объектов, эксплуатирующих грузоподъемные краны, как при проведении аттестации работников, так и в процессе трудовой деятельности.

**Обсуждение и заключения.** Основным результатом использования нейронных сетей для оценки знаний работников объектов, эксплуатирующих грузоподъемные краны, является предполагаемое снижение аварийности, что может быть обеспечено за счет своевременного выявления некомпетентного персонала на стадиях первичной аттестации и, что особенно важно, при периодических проверках знаний на основании беспристрастного анализа и оценки данных.

**Ключевые слова:** авария, грузоподъемный кран, вероятность, оценка, компетенция, человеческий фактор, нейронная сеть.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность коллегам за помощь при подготовке материалов исследования.

Для цитирования. Егельский В.В., Николаев Н.Н., Егельская Е.В. и др. Влияние компетенций специалистов грузоподъемных кранов на вероятность возникновения аварийных ситуаций. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2023;7(2):70–79. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-70-79>

Original article

## Influence of the Competencies of Lifting Crane Specialists on the Probability of Emergencies

Vladislav V Egelsky<sup>ID</sup>, Nikolay N Nikolaev<sup>ID</sup>, Elena V Egelskaya<sup>ID</sup>, Anatoliy A Korotki<sup>ID</sup>

Don State Technical University, 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ [egelskaya72@mail.ru](mailto:egelskaya72@mail.ru)

### Abstract

**Introduction.** The operation of lifting cranes is an integral part of the production processes. For the trouble-free operation of these mechanisms, certain knowledge, skills and abilities are required, which should also be possessed by specialists performing organizational and supervisory functions at facilities where such cranes are involved. Here there is an important problem — the lack of a reasonable connection between the level of development of professional competencies and possible emergency situations, as well as various incidents during the operation of lifting cranes. The authors of this study are trying to solve it. Their goal in this regard is to assess the probability of an emergency during the operation of lifting cranes, depending on the level of professional competence of specialists, through the use of neural networks.

**Materials and Methods.** The competencies of workers in the operation of lifting cranes (knowledge, skills and work responsibilities) provided for by the professional standard "Specialist in the operation of lifting structures" were used as initial data to train neural networks. Based on them, a list of possible incidents was compiled. For the purposes of training, the results of the certification of 200 conditional employees were generated. During the generation, the Monte Carlo method was used, and the data were output to Excel tables. Neural networks were trained in Python 3.10 in the PyCharm development environment. Open libraries Keras and TensorFlow, as well as auxiliary libraries for data representation and processing (Pandas, NumPy, Scikit-learn) were used for neural networks training.

**Results.** As a result, a tool was obtained — a neural network in the form of executable program code, which makes it possible to assess the probability of emergencies during the operation of lifting cranes by analyzing the degree of proficiency of specialists in professional competencies. It is proposed to implement artificial intelligence technologies based on neural networks in order to assess the knowledge, skills and abilities of specialists of facilities operating lifting cranes, both during the certification of employees and in the course of work.

**Discussion and Conclusion.** The main result of using neural networks to assess the knowledge of employees of facilities operating lifting cranes is the expected reduction in accidents, which can be ensured by timely identification of incompetent personnel at the stages of primary certification and, most importantly, during periodic tests of knowledge based on an impartial analysis and evaluation of data.

**Keywords:** accident, lifting crane, probability, assessment, competence, human factor, neural network.

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to their colleagues for their help in preparing the research materials.

**For citation.** Egelsky VV, Nikolaev NN, Egelskaya EV, et al. Influence of the Competencies of Lifting Crane Specialists on the Probability of Emergencies. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2023;7(2):70–79. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-70-79>

**Введение.** Предприятия, эксплуатирующие подъемные сооружения (грузоподъемные краны, краны-манипуляторы, подъемники (вышки), подъемники строительные и т. д.), в соответствии с законодательством<sup>1</sup> относятся к опасным производственным объектам (ОПО), как правило, IV класса опасности, но также могут входить в состав объектов I, II или III классов опасности. Учет, контроль деятельности, расследование и учет аварий, произошедших на ОПО, возложены на Ростехнадзор.

По данным Ростехнадзора<sup>2</sup>, в 2021 году на предприятиях и в организациях Российской Федерации эксплуатировалось порядка 600 тысяч подъемных механизмов, из них 209 935 — грузоподъемные краны. В 2021 году произошло 29 аварий при эксплуатации подъемных сооружений, 27 смертельных случаев. По

<sup>1</sup> О промышленной безопасности опасных производственных объектов. Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.0.1997. КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/) (дата обращения: 18.01.2023).

<sup>2</sup> Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2021 году. Ростехнадзор. URL: [https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports) (дата обращения: 18.01.2023).

сравнению с 2020 годом, можно наблюдать незначительную положительную динамику — тогда случилось 30 аварий, 28 смертельных травмирований.

Наибольшее количество аварий в 2021 году, как и в 2015–2020 годах, произошло при эксплуатации башенных кранов:

- при эксплуатации башенных кранов в 2020 году произошло 12 аварий, в 2021 году — 13 аварий;
- при эксплуатации автомобильных кранов в 2020 году произошло четыре аварии, в 2021 году — тоже четыре аварии;
- при эксплуатации мостовых кранов в 2020 году произошла одна авария, в 2021 году — тоже одна авария;
- при эксплуатации козловых кранов в 2020 году произошла одна авария, в 2021 году — три аварии;
- при эксплуатации кранов-манипуляторов в 2020 году произошло две аварии, в 2021 году — тоже две аварии.

Анализируя приведенные выше данные, можно выделить среди прочих такую причину аварий, как отсутствие должного контроля за производственными процессами на объектах со стороны ответственных специалистов (человеческий фактор).

Причины аварий и несчастных случаев:

- отсутствие производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности со стороны руководства организации и владельцев опасного производственного объекта, а также лиц, ответственных за содержание подъемных сооружений в работоспособном состоянии и за безопасное производство работ;
- в отдельных организациях фиксируются факты неназначения ответственных за этот участок контроля специалистов, как того требуют нормативные правовые акты<sup>3</sup>;
- привлечение к производству работ персонала, не имеющего необходимой квалификации;
- отсутствие на объекте проектов производства работ, правил производства работ, должностных и производственных инструкций;
- несвоевременное проведение плановых осмотров, ремонтов и технических освидетельствований подъемных сооружений.

Нередко первопричиной допущенных нарушений в части не организованного надлежащим образом производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности является желание владельцев опасных производственных объектов снизить финансовые издержки.

Однако, как показывают статистика, а также многочисленные исследования на данную тему, существует прямая зависимость возникновения аварий на ОПО от уровня квалификации руководителей и ответственных специалистов [1–3].

Вероятность возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации грузоподъемных кранов определяется посредством оценки степени владения профессиональными компетенциями персонала. Чтобы оценивать такие знания, предлагается при проведении аттестации работников использовать технологии искусственного интеллекта на базе нейронных сетей.

В соответствии с указом Президента РФ<sup>4</sup> и Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года применять технологии искусственного интеллекта на базе нейронных сетей для оценки остаточных знаний ответственных специалистов организаций, эксплуатирующих грузоподъемные краны, необходимо в следующих случаях:

- накануне проведения аттестации в аттестационных комиссиях предприятия или территориальной аттестационной комиссии Ростехнадзора;
- в случае возникновения аварии или травмирования (несчастного случая) на ОПО и др.

Уровень компетенции инженерно-технических работников ОПО, эксплуатирующих грузоподъемные краны, назначенных ответственными специалистами, определяется не только наличием профильного высшего профессионального образования, но и периодическими аттестациями согласно требованиям законодательства РФ, чему предшествует получение дополнительного профессионального образования для определенных категорий специалистов<sup>5,6</sup>.

<sup>3</sup>Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 461 от 26 ноября 2020 года. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275657> (дата обращения: 30.03.2023).

<sup>4</sup>О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации. Указ Президента РФ № 490 от 10.10.2019. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_335184/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/) (дата обращения: 30.03.2023).

<sup>5</sup>О подготовке и об аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики. Постановление Правительства Российской Федерации № 1365 от 25 октября 2019 г. Информационно-правовая база РФ. URL: <https://ipbd.ru/doc/0001201910290010/> (дата обращения: 30.03.2023).

<sup>6</sup>Об аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики. Постановление Правительства Российской Федерации № 13 от 13 января 2023 г. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202301170020> (дата обращения: 30.03.2023).

Проверка уровня знаний и компетенций по итогам повышения квалификации в области промышленной безопасности осуществляется образовательными организациями посредством оценок, разработанных для конкретных программ [4–6].

Проверка уровня знаний и компетенций при прохождении периодических аттестаций в аттестационных комиссиях Ростехнадзора или эксплуатирующей организации осуществляется посредством тестирования в единой системе тестирования<sup>5</sup>. Итоги тестовых заданий будут способствовать оценке знания законодательных и нормативных документов, соответствующих области аттестации<sup>7</sup>.

Возникает также потребность оценить знания, умения и навыки специалистов ОПО, эксплуатирующих грузоподъемные краны, в соответствии с профессиональными стандартами для конкретных должностей<sup>8</sup>. При этом учитываются не только ответы на вопросы, то есть теоретические знания, но и умения и навыки посредством выполнения практических заданий (решение тематических задач, чтение чертежей, оформление соответствующей документации).

**Материалы и методы.** Во время аттестации по каждому виду проверок специалисты проставляют баллы. Аттестуемый должен набрать не менее 80 % правильных ответов для допуска к работе. Таким образом можно сформировать матрицу данных, а статистические данные в матрице связать с причинами аварий, травм и несчастных случаев. Тогда появляется возможность обучения нейронной сети, что позволит при выявлении недостаточных знаний, умений и навыков аттестуемого прогнозировать возможные аварии, травмы и несчастные случаи на объектах [7–9].

Профессиональный стандарт «Специалист по эксплуатации подъемных сооружений» предусматривает 132 компетенции, разделяющиеся на знания, умения и трудовые функции. Для обучения нейронной сети и удобства представления данных необходимо присвоить им буквенно-цифровые индексы. Результаты обучения условных аттестуемых специалистов получены методом Монте-Карло [10–12].

Полученные значения состоят из 0 и 1, что соответствует отрицательному и положительному (более 80 %) результату оценки владения соответствующей компетенцией. Генерация выполнена таким образом, чтобы данные были равномерно распределены по матрице и нейронная сеть обучалась на различных сочетаниях положительных и отрицательных оценок овладения компетенциями. При генерации были получены результаты аттестации 200 условных специалистов (рис. 1).

На основании данных Ростехнадзора об аварийных ситуациях на грузоподъемных кранах и перечня профессиональных компетенций сформулированы возможные инциденты, происходящие по причине недостаточного освоения специалистами профессиональных компетенций. Вероятность инцидента оценена в долях единицы и находится в диапазоне 0,0–1,0. Каждый из возможных инцидентов был соотнесен с набором компетенций из матрицы. Соответствующие инциденты и наборы компетенций, на них влияющие, представлены в таблице 1.

| Производства работ, технологическими картами, технологическими регламентами и нарядами-допуске |                                     |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Трудовые действия                                                                              |                                     | Необходимые умения                                                                                                                                                   |                                                                                                                                        |
| Контроль соблюдения марочной системы при работе кранов мостового типа                          | Оформление необходимой документации | Организовывать документацию собственную деятельность и деятельность машинистов подъемных сооружений и стропальщиков, давать поручения и контролировать их выполнение | Осуществлять контроль выполнения требований промышленной безопасности и охраны труда машинистами подъемных сооружений и стропальщиками |

Рис. 1. Матрица компетенций (фрагмент)

<sup>7</sup> Об утверждении Перечня областей аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 334 от 4 сентября 2020 г. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102040015> (дата обращения: 30.03.2023).

<sup>8</sup> Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по эксплуатации подъемных сооружений». Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ № 169н от 20 марта 2018 г. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542621605> (дата обращения: 30.03.2023).

Таблица 1

## Возможные инциденты и влияющие на них компетенции

| Вид инцидента                                                                                                                                                                                                | Влияющая компетенция                                                                                                                                                                                                                                                   | Количество компетенций |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Травмирование посторонних лиц и работников без допуска в опасной зоне при работе подъемных сооружений                                                                                                        | A1, A2, B1, B7, C1, C2, C8, C9, C11, D1, D4, D7, E2, E3, E5, F1, F2, F8, F9, F14                                                                                                                                                                                       | 20                     |
| Травмирование работников при нарушении выполнения строповочных и грузовых операций                                                                                                                           | A3, A4, A5, A6, B2, B3, B4, B5, B6, B7, C6, D1, D2, D4, D7, E1, E2, E3, E5, F1, F2, F6                                                                                                                                                                                 | 22                     |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к прокладке и содержанию крановых путей                                                                                | C4, C14, D5, D6, D7, F4                                                                                                                                                                                                                                                | 6                      |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к прокладке, содержанию и ремонту крановых путей                                                                       | C4, C14, D5, D6, D7, F6, H12, I4, I5, I8, J1, M11                                                                                                                                                                                                                      | 12                     |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к складированию грузов                                                                                                 | C5, D3, F5                                                                                                                                                                                                                                                             | 3                      |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при поражении электрическим током                                                                                                               | C7, C13, E4, F7, F13, H8, K1, K14, M7, M18                                                                                                                                                                                                                             | 10                     |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении правил проведения технического обслуживания и ремонта                                                                             | C3, F3, F11, G1, G2, G3, G4, G5, G6, H1, H2, H3, H4, H6, H7, H8, H9, H10, H13, H14, H15, H16, H18, H19, H20, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, J1, J2, J3, J4, J5, J6, J8, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K12, K14, L1, L2, L3, L4, L5, M1, M2, M3, M4, M6, M7 | 63                     |
| Причинение вреда здоровью и гибель людей в результате нарушения порядка действий и оказания помощи в чрезвычайных ситуациях                                                                                  | C12, F12, H5, H19, J7, K13, M5, M17                                                                                                                                                                                                                                    | 8                      |
| Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей вследствие ненадлежащего проведения освидетельствования и выбраковки стальных канатов, грузозахватных приспособлений, грузоподъемных механизмов | C10, F10, H11, H17, K11, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M18                                                                                                                                                                                                | 15                     |

Указанным в таблице 1 возможным инцидентам присвоены буквенно-цифровые индексы для удобства использования заголовков данных при обучении нейронной сети, а затем расчетным путем определены значения вероятностей возникновения инцидентов в зависимости от полноты освоения компетенций [13, 14] (рис. 2).

Полученные данные были использованы для обучения нейронной среды на языке Python 3.10 в среде разработки PyCharm Community Edition. Для обучения нейронной сети использована открытая библиотека глубокого машинного обучения TensorFlow, а также взаимодействующая с ней открытая библиотека Keras. Открытая библиотека Pandas применена для импорта данных из Excel в Python. Открытая библиотека NumPy использовалась для оптимизации структуры массивов данных с целью ускорения обучения нейронной сети.

С помощью открытой библиотеки Scikit-learn данные для обучения были разделены на тренировочные (train) — 70 %, тестовые (test) — 15 % и проверочные (validation) — 15 %.

|                                                                                                       |                                                                                     |                                                                                                                               |                                                                                                                                        |                                                                                                              |                                                                                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Травмирование посторонних лиц и работников без допуска в опасной зоне при работе подъемных сооружений | Травмирование работников при нарушении выполнения строповочных и грузových операций | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к прокладке и содержанию крановых путей | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к прокладке, содержанию и ремонту крановых путей | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении требований к складированию грузов | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при поражении электрическим током | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей при нарушении правил проведения технического обслуживания и ремонта | Причинение вреда здоровью и гибель людей в результате нарушения порядка действий при оказании помощи в чрезвычайных ситуациях | Травмирование персонала и повреждение материальных ценностей вследствие ненадлежащего проведения освидетельствования и выбраковки стальных канатов, грузозахватных приспособлений, грузоподъемных механизмов |
| EMG1                                                                                                  | EMG2                                                                                | EMG3                                                                                                                          | EMG4                                                                                                                                   | EMG5                                                                                                         | EMG6                                                                                           | EMG7                                                                                                                             | EMG8                                                                                                                          | EMG9                                                                                                                                                                                                         |
| 0,25                                                                                                  | 0,27                                                                                | 0,33                                                                                                                          | 0,25                                                                                                                                   | 0,33                                                                                                         | 0,10                                                                                           | 0,25                                                                                                                             | 0,38                                                                                                                          | 0,00                                                                                                                                                                                                         |
| 0,25                                                                                                  | 0,23                                                                                | 0,17                                                                                                                          | 0,33                                                                                                                                   | 0,67                                                                                                         | 0,10                                                                                           | 0,32                                                                                                                             | 0,25                                                                                                                          | 0,27                                                                                                                                                                                                         |

Рис. 2. Матрица инцидентов (фрагмент)

В ходе обучения применялся метод «обучение с учителем», которым являлся массив тренировочных данных [15–17]. Обучение длилось 1000 эпох. В качестве модели обучения использовался многослойный персептрон (MLP) как подкласс класса Model библиотеки Keras. Общая структура обучаемой нейронной сети представлена на рис. 3.

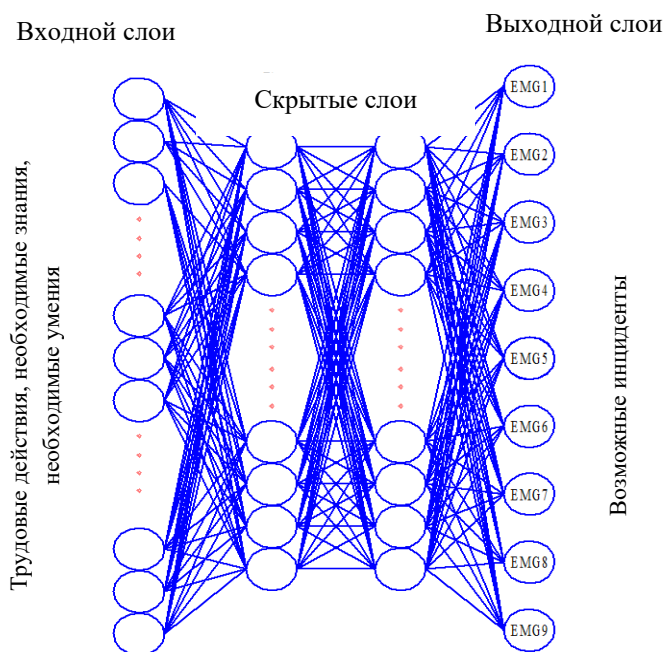


Рис. 3. Схема нейронной сети для оценки вероятности возникновения инцидентов на грузоподъемных кранах

**Результаты исследования.** В ходе обучения получена нейронная сеть MLP 132-25-9 (25 нейронов находятся в скрытых слоях), которая является программным продуктом, дающим возможность проводить оценку вероятности свершения инцидентов в зависимости от качества освоения профессиональных компетенций специалистами в области применения грузоподъемных кранов.

В процессе обучения нейронной сети использовались различные функции активации для скрытых слоев и выходного слоя. Наилучшие результаты получены при использовании в скрытом слое функции гиперболического тангенса (Tanh), а в выходном слое — тождественной функции (Identity).

В качестве функции ошибок использовалась функция среднеквадратичных ошибок (mean\_squared\_error). В результате удалось получить следующие значения ошибок на тренировочной, тестовой и проверочной выборке соответственно:

- тренировочная выборка — 0,0034;
- тестовая выборка — 0,0591;
- проверочная выборка — 0,0573.

По представленным значениям можно сделать вывод, что уровень полученных ошибок довольно низкий, значит, нейронная сеть обучена достаточно качественно для практического использования [18–20] (рис. 4).

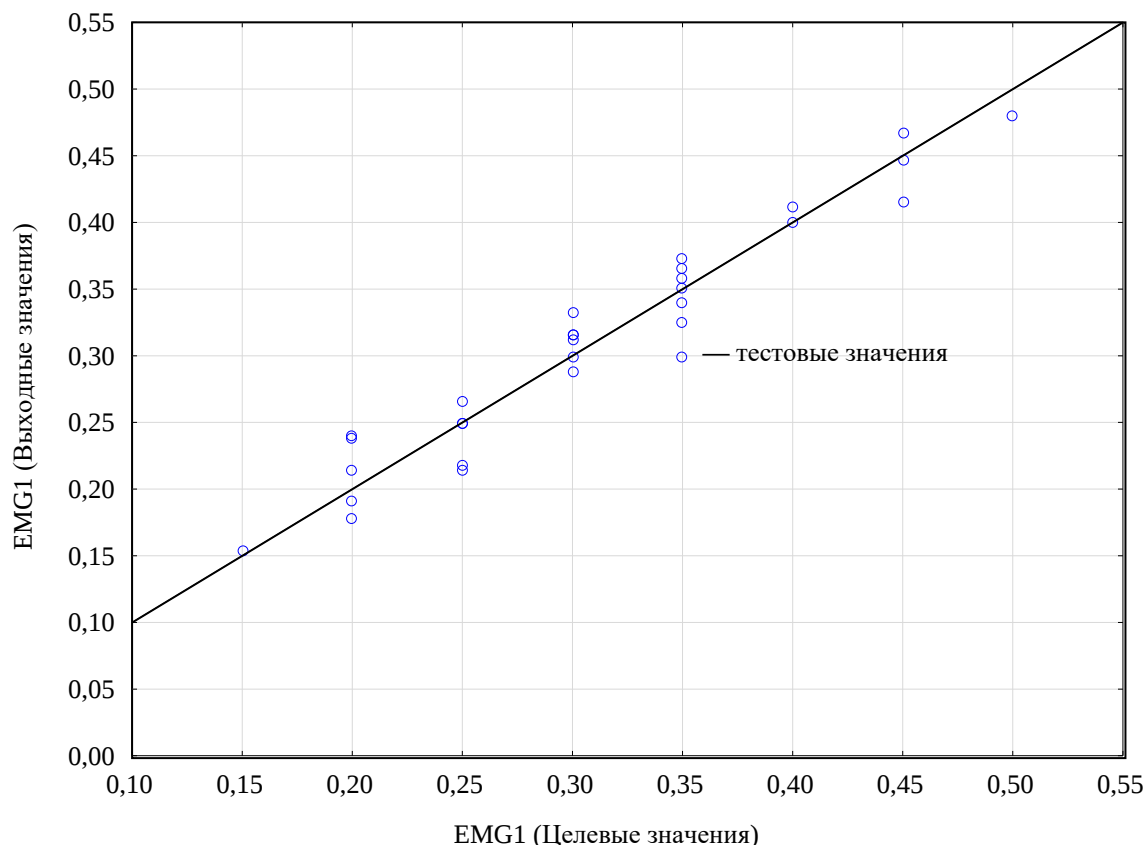


Рис. 4. Графическое представление результатов нейронной сети на тестовых данных

**Обсуждение и заключения.** Предложенное авторами программное решение, основанное на использовании нейронных сетей для оценки знаний работников объектов, эксплуатирующих грузоподъемные краны, предполагает снижение уровня аварийности, что может быть обеспечено посредством своевременного выявления некомпетентности специалистов не только в рамках аттестаций, но и на любых стадиях их профессиональной деятельности на основании беспристрастного анализа и оценки данных. В качестве результата применения разработанной программы можно ожидать принятия обоснованных решений о назначении или отказе в назначении на ответственные должности, связанные с осуществлением оцененных трудовых функций. Предполагаемым дальнейшим развитием данного решения может быть создание кроссплатформенного приложения, позволяющего оценивать и передавать результаты на устройства с различной архитектурой, в том числе мобильные.

#### Список литературы

1. Егельская Е.В., Каланчукова В.А. Анализ основных причин травматизма для персонала при эксплуатации подъемных сооружений. *Молодой исследователь Дона*. 2021;4:25–29.
2. Егельская Е.В., Романенко М.Ю. Аспекты применения риск-ориентированного подхода на опасных производственных объектах. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2020;4:45–49. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-45-49>
3. Панфилов А.В., Дерюшев В.В., Короткий А.А. Рекомендательные системы безопасности для риск-ориентированного подхода. *Безопасность труда в промышленности*. 2020;5:48–55. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-5-48-55>

4. Числов О.Н., Лябах Н.Н., Колесников М.Б. и др. Нейросетевое исследование транспортных систем. *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. 2021;10:9–13. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-10-2>
5. Турулев Р.Р. *Нейросети в системах корпоративного управления*. В: Труды II Всероссийской научно-практической конференции «Цифровизация: Россия и СНГ в контексте глобальной трансформации». Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука»; 2021. С. 7–16. <https://doi.org/10.46916/12042021-2-978-5-00174-191-6>
6. Barisic A.F., Barišić J.R., Miloloža I. Digital Transformation: Challenges for Human Resources Management. *ENTRENOVA — ENTERprise REsearch InNOVAtion*. 2021;7(1):365-375. <https://doi.org/10.54820/GTFN9743>
7. Haibin Qiu, Shanghong Shi, Tingdi Zhao, et al. Reference to the Safety Engineering Undergraduate Courses to Improve the Subjects and Contents of the Certified Safety Engineer Qualification and Examination System of China. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013;6(18):3320–3323. <https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3641>
8. Kargar V., Jahangiri M., Alimohammadlu M., et al. Risk assessment of mobile crane overturning in Asymmetric Tandem Lifting (ATL) operation based on fuzzy fault tree analysis (FFTA). *Results in Engineering*. 2022;16:100755. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100755>
9. Szpytko J., Salgado Duarte Y. *Exploitation Efficiency System of Crane based on Risk Management*. In: Proceedings of International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics IN4PL. 2020, Vol. 1. P. 24–31. <https://doi.org/10.5220/0010123200240031>
10. Xing Yong, Li Fan, Sun Ke, et al. *Multi-type electric vehicle load prediction based on Monte Carlo simulation*. In: The 4th International Conference on Clean Energy and Electrical Systems (CEES 2022). Tokyo, Japan; 2022, Vol. 8, Supplement 10. P. 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.264>
11. Szpytko J., Salgado Duarte Y. *Assessing Impacts of Vine-Copula Dependencies: Case Study of a Digital Platform for Overhead Cranes*. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics IN4PL. 2021, P. 187–196. <https://doi.org/10.5220/0010709900003062>
12. Stroganov Yu., Belov V., Belova N., et al. Analysis of model for assessing the road train movement stability. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889:042051. [10.1088/1742-6596/1889/4/042051](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042051)
13. Varadaraj A., Wadi Al B.M. A Study on Contribution of Digital Human Resource Management towards Organizational Performance. *International Journal of Management Science and Business Administration*. 2021;7(5): 43-51. <https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.75.1004>
14. Saarikko T., Westergren U.H., Blomquist T. Digital transformation: Five recommendations for the digitally conscious firm. *Business Horizons*. 2020;63(6):825–839. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.07.005>
15. Тимофеев Г.О., Рошин А.Б. Повышение устойчивости тестов САПРЧА к распознаванию сверточными нейросетями. *Электросвязь*. 2022;6:39–45. <https://doi.org/10.34832/ELSV.2022.31.6.006>
16. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Прогнозирование многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования. *Морские интеллектуальные технологии*. 2020;4(4):23–27. <https://doi.org/10.37220/MIT.2020.50.4.092>
17. Fuqiang Sun, Fangyou Fu, Haitao Liao, et al. Analysis of multivariate dependent accelerated degradation data using a random-effect general Wiener process and D-vine Copula. *Reliability Engineering and System Safety*. 2020;204:107168. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107168>
18. Kraus S., Jones P., Roig-Tierno N., et al. Digital Transformation: An Overview of the Current State of the Art of Research. *SAGE Open*. 2021;11(3). <https://doi.org/10.1177/21582440211047576>
19. Spirina A., Mironova A., Datkhuzheva R., et al. *Analysis of Occupational Injuries in Construction and Offer of a Technical Solution Increasing Tower Crane Stability*. In: XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability. — Transportation Research Procedia. 2023, Vol. 68. P. 559–565. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.076>
20. Ozkeser B. *Impact of training on employee motivation in human resources management*. In: 3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WOCTINE). Procedia Computer Science. 2019, Vol. 158. P. 802–810. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.117>

## References

1. Egelskaya EV, Kalanchukova VA. Analysis of the main causes of injuries to personnel in the operation of lifting devices. *Young Researcher of the Don*. 2021;4:25–29. (In Russ.).
2. Egelskaya EV, Romanenko MYu. Aspects of Application of a Risk-based Spproach to Hazardous Production Facilities. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2020;4:45–49. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-45-49>

3. Panfilov AV, Deryushev VV, Korotkiy AA. Recommended Safety Systems for Risk-Oriented Approach. *Occupational Safety in Industry* 2020;5:48–55. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-5-48-55> (In Russ.).
4. Chislov ON, Lyabakh NN, Kolesnikov MV, et al. Neural Network Investigation of Transport Systems. *Transport: science, equipment, management*. 2021;10:9–13. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-10-2> (In Russ.).
5. Turulev RR. *Neiroseti v sistemakh korporativnogo upravleniya*. In: Trudy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Tsifrovizatsiya: Rossiya i SNG v kontekste global'noi transformatsii". Petrozavodsk: Mezhdunarodnyi tsentr nauchnogo partnerstva "Novaya Nauka"; 2021. P. 7–16. <https://doi.org/10.46916/12042021-2-978-5-00174-191-6> (In Russ.).
6. Barisic AF, Barišić JR, Miloloža I. Digital Transformation: Challenges for Human Resources Management. *ENTRENOVA — ENTERprise REsearch INNOVAtion*. 2021;7(1):365-375. <https://doi.org/10.54820/GTFN9743>
7. Haibin Qiu, Shanghong Shi, Tingdi Zhao, et al. Reference to the Safety Engineering Undergraduate Courses to Improve the Subjects and Contents of the Certified Safety Engineer Qualification and Examination System of China. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013;6(18):3320–3323. <https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3641>
8. Kargar V, Jahangiri M, Alimohammadlu M, et al. Risk assessment of mobile crane overturning in Asymmetric Tandem Lifting (ATL) operation based on fuzzy fault tree analysis (FFTA). *Results in Engineering*. 2022;16:100755. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100755>
9. Szpytko J, Salgado Duarte Y. *Exploitation Efficiency System of Crane based on Risk Management*. In: Proceedings of International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics IN4PL. 2020, Vol. 1. P. 24–31. <https://doi.org/10.5220/0010123200240031>
10. Xing Yong, Li Fan, Sun Ke, et al. *Multi-type electric vehicle load prediction based on Monte Carlo simulation*. In: The 4th International Conference on Clean Energy and Electrical Systems (CEES 2022). Tokyo, Japan; 2022, Vol. 8, Supplement 10. P. 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.264>
11. Szpytko J, Salgado Duarte Y. *Assessing Impacts of Vine-Copula Dependencies: Case Study of a Digital Platform for Overhead Cranes*. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics IN4PL. 2021, P. 187–196. <https://doi.org/10.5220/0010709900003062>
12. Stroganov Yu, Belov V, Belova N, et al. Analysis of model for assessing the road train movement stability. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889:042051. [10.1088/1742-6596/1889/4/042051](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042051)
13. Varadaraj A, Wadi Al BM. A Study on Contribution of Digital Human Resource Management towards Organizational Performance. *International Journal of Management Science and Business Administration*. 2021;7(5):43–51. <https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.75.1004>
14. Saarikko T, Westergren UH, Blomquist T. Digital transformation: Five recommendations for the digitally conscious firm. *Business Horizons*. 2020;63(6):825–839. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.07.005>
15. Timofeev GO, Roshchin AB. Improving the resistance of captcha tests against automated recognition by convolutional neural networks. *Electrosvyaz Magazine*. 2022;6:39–45. <https://doi.org/10.34832/ELSV.2022.31.6.006> (In Russ.).
16. Epikhin AI, Kondratyev SI, Khekert EV. Predictiuo of multi-dimensijnal non-stationary time series using neuromodeling. *Marine Intellectual Technologies*. 2020;4(4):23–27 <https://doi.org/10.37220/MIT.2020.50.4.092> (In Russ.).
17. Fuqiang Sun, Fangyou Fu, Haitao Liao, et al. Analysis of multivariate dependent accelerated degradation data using a random-effect general Wiener process and D-vine Copula. *Reliability Engineering and System Safety*. 2020;204:107168. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107168>
18. Kraus S, Jones P, Roig-Tierno N, et al. Digital Transformation: An Overview of the Current State of the Art of Research. *SAGE Open*. 2021;11(3) <https://doi.org/10.1177/21582440211047576>
19. Spirina A, Mironova A, Datkhuzheva R, et al *Analysis of Occupational Injuries in Construction and Offer of a Technical Solution Increasing Tower Crane Stability*. In: XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability. — Transportation Research Procedia. 2023, Vol. 68. P. 559–565. <https://doi.org/10.1016/j.tpro.2023.02.076>
20. Ozkeser B. *Impact of training on employee motivation in human resources management*. In: 3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WOCTINE). Procedia Computer Science. 2019, Vol. 158. P. 802–810. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.117>

Об авторах:

**Егельский Владислав Витальевич**, аспирант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), [sp\\_5sp\\_6pb\\_97n14@mail.ru](mailto:sp_5sp_6pb_97n14@mail.ru)

**Николаев Николай Николаевич**, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [ScopusID](#), [ORCID](#), [nnneks@yandex.ru](mailto:nnneks@yandex.ru)

**Егельская Елена Владимировна**, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, [ORCID](#), [egelskaya72@mail.ru](mailto:egelskaya72@mail.ru)

**Короткий Анатолий Аркадьевич**, заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, [ORCID](#), [ScopusID](#), [korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)

*Заявленный вклад соавторов:*

В.В. Егельский — подготовка данных для обучения нейронной сети. Н.Н. Николаев — разработка методики исследования, обучение нейронной сети. Е.В. Егельская — оценка состояния вопроса и актуальности исследования, участие в формировании исходной концепции, оформление результатов исследования. А.А. Короткий — обобщение результатов исследования, формулирование выводов.

**Поступила в редакцию** 10.04.2023.

**Поступила после рецензирования** 23.04.2023.

**Принята к публикации** 25.04.2023.

*Конфликт интересов*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*About the Authors:*

**Vladislav V Egelskiy**, postgraduate student of the Operation of Transport Systems and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](#), [sp\\_5sp\\_6pb\\_97n14@mail.ru](mailto:sp_5sp_6pb_97n14@mail.ru)

**Nikolay N Nikolaev**, associate professor of the Operation of Transport Systems and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, [ScopusID](#), [ORCID](#), [nnneks@yandex.ru](mailto:nnneks@yandex.ru)

**Elena V Egelskaya**, associate professor of the Operation of Transport Systems and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Eng.), [ORCID](#), [egelskaya72@mail.ru](mailto:egelskaya72@mail.ru)

**Anatoliy A Korotkiy**, head of the Operation of Transport Systems and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Dr. Sci. (Eng.), professor, [ORCID](#), [ScopusID](#), [korot@novoch.ru](mailto:korot@novoch.ru)

*Claimed contributorship:*

VV Egelskiy: data preparation for neural network training. NN Nikolaev: development of research methodology, neural network training. EV Egelskaya: assessment of the state of the issue and the relevance of the study, participation in the formulation of the initial concept, design of the research results. AA Korotkiy: generalization of the research results, formulation of the conclusions.

**Received** 10.04.2023.

**Revised** 23.04.2023.

**Accepted** 25.04.2023.

*Conflict of interest statement*

The authors do not have any conflict of interest.

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