

Дата поступления рукописи в редакцию: 22.01.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 16.02.2026 г.

DOI: 10.24412/2782-3830-2026-1-329-333

ПАВЛОВ Валерий Владимирович,
старший преподаватель кафедры
«Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «УрГУПС»,
e-mail: mail@law-books.ru

ПОПОВА Нина Павловна,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»
ФГБОУ ВО «УрГУПС»,
e-mail: mail@law-books.ru

КУЛИКОВ Владимир Викторович,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»
ФГБОУ ВО «УрГУПС»,
e-mail: mail@law-books.ru

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ПРИ РАБОТЕ НА СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНАХ И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЬНЫХ МЕР

Аннотация. Цель исследования – проведение количественной оценки профессиональных рисков для машиниста стрелового самоходного крана и определение наиболее эффективных с экономической и профилактической точки зрения контрольных мер. Актуальность работы обусловлена высоким уровнем травматизма при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и необходимостью перехода от качественных к количественным методам управления рисками. В работе использован метод матричного анализа рисков с последующим детальным расчетом вероятности реализации опасных событий на основе статистических данных за 2018–2023 гг. и метода «дерева отказов» (Fault Tree Analysis) для сценария «Падение груза». Рассчитан исходный и остаточный уровень риска после внедрения трех вариантов контрольных мер: 1) установка системы ограничения грузового момента (СОГМ), 2) внедрение программы поведенческого аудита безопасности (ПАБ), 3) комплекс мер (СОГМ + ПАБ + ежедневный контроль давления в шинах). Проведен анализ «затраты-эффективность» для каждого варианта. Результаты показывают, что исходный риск сценария «Падение груза» оценивается как «недопустимый» (24 балла). Наиболее эффективной с точки зрения снижения уровня риска является комплекс мер (остаточный риск – 4 балла, «приемлемый»). Наиболее экономически эффективной мерой с наилучшим соотношением «затраты/снижение балла риска» является установка СОГМ. Научная новизна заключается в применении комбинированной методики ФТА и матричного анализа для конкретного технологического процесса, а также в экономическом обосновании выбора мер. Практическая значимость: разработанная модель позволяет службам охраны труда промышленных предприятий принимать обоснованные решения по инвестициям в безопасность.

Ключевые слова: количественная оценка рисков, профессиональный риск, стреловой самоходный кран, дерево отказов, система ограничения грузового момента, анализ «затраты-эффективность», охрана труда.

PAVLOV Valery Vladimirovich,
Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety,
Ural State Railways

POPOVA Nina Pavlovna,
Associate Professor, Department of Technosphere Safety,
Ural State Railways

KULIKOV Vladimir Viktorovich,
Associate Professor,
Department of Technosphere Safety,
Ural State Railways

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL RISKS DURING WORK ON MOBILE BOOM CRANES AND SUBSTANTIATION OF THE EFFECTIVENESS OF CONTROL MEASURES

Annotation. The aim of the study is to conduct a quantitative assessment of occupational risks for a mobile boom crane operator and to determine the most effective control measures from an economic and preventive point of view. The relevance of the work is due to the high level of injuries during loading and unloading operations and the need to move from qualitative to quantitative risk management methods. The work uses the method of matrix risk analysis with subsequent detailed calculation of the probability of hazardous events based on statistical data for 2018–2023 and the Fault Tree Analysis (FTA) method for the scenario “Load drop”. The initial and residual risk levels after the implementation of three control measure options were calculated: 1) installation of a load moment limiting system (LMLS), 2) implementation of a behavioral safety audit program (BSAP), 3) a set of measures (LMLS + BSAP + daily tire pressure control). A cost-effectiveness analysis was carried out for each option. The results show that the initial risk of the “Load drop” scenario is assessed as “unacceptable” (24 points). The most effective in terms of risk reduction is a set of measures (residual risk – 4 points, “acceptable”). The most cost-effective measure with the best “cost/risk point reduction” ratio is the installation of LMLS. The scientific novelty lies in the application of a combined FTA and matrix analysis methodology for a specific technological process, as well as in the economic justification for the choice of measures. Practical significance: the developed model allows occupational health and safety services of industrial enterprises to make informed decisions on safety investments.

Key words: quantitative risk assessment, occupational risk, mobile boom crane, fault tree analysis, load moment limiting system, cost-effectiveness analysis, occupational safety and health.

Введение

Работа на стреловых самоходных кранах (ССК) относится к категории работ повышенной опасности. По данным Роструда, на погрузочно-разгрузочные работы с использованием грузоподъемных машин в 2022 году пришлось около 18% всех тяжелых несчастных случаев в строительстве и промышленности [1]. Действующая нормативная база (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности, Правила безопасности опасных производственных объектов) предписывает идентификацию и оценку опасностей, однако методы такой оценки часто носят качественный, экспертный характер, что затрудняет объективное ранжирование рисков и выбор оптимальных корректирующих действий [2]. В этой связи внедрение методов количественной и полуколичественной оценки профессиональных рисков является актуальной научной и практической задачей. Целью данной работы является разработка и апробация комбинированной методики количественной оценки риска для машиниста ССК на основе анализа статистики и метода «дерева отказов» (FTA) с последующим экономическим обоснованием выбора контрольных мер. Для достижения цели были поставлены задачи:

- 1) выявить основные опасные события (сценарии риска);
- 2) провести их полуколичественную оценку по матрице рисков;
- 3) для ключевого сценария «Падение груза» построить FTA и рассчитать вероятность его реализации;
- 4) оценить эффективность и экономическую целесообразность различных контрольных мер.

Материалы и методы

Объектом исследования выступила рабочая зона машиниста стрелового самоходного крана Liebherr LTM 1050-3.1 на площадке монтажа металлоконструкций. Исследование проводилось в три этапа.

На первом этапе методом экспертного опроса (в опросе участвовали 5 инженеров по ОТ, 3 машиниста кранов высшей категории, 2 специалиста по надежности) и анализа карт происшествий предприятия за 5 лет были выявлены 4 ключевых сценария риска: 1) Падение груза; 2) Опрокидывание крана; 3) Поражение электрическим током (при работе в охранной зоне ЛЭП); 4) Падение с высоты при переходе в кабину/обслуживании.

На втором этапе проведена полуколичественная оценка по 5x5 матрице риска, где вероятность (P) оценивалась по шкале от 1 (маловероятно) до 5 (очень вероятно), а тяжесть последствий (S) – от 1 (легкие травмы) до 5 (катастрофа – несколько погибших). Уровень риска $R = P * S$. Градации: 1-3 – приемлемый (зеленый), 4-8 – допустимый (желтый), 9-25 – недопустимый (красный).

На третьем этапе для сценария с наивысшим баллом («Падение груза») проведен углубленный количественный анализ методом FTA. Верхнее событие (BC) – «Падение груза на людей или оборудование». Вероятности базовых событий определялись на основе: а) статистики предприятия; б) данных отраслевого отчета Ассоциации «Стройбезопасность» [3]; в) паспортных данных надежности компонентов. Для расчета веро-

ятности BC использована булева алгебра для логического вентилля «ИЛИ»: $P(BC) = 1 - \prod(1 - P_i)$, где P_i – вероятность i-го минимального набора отказов.

На четвертом этапе для трех предлагаемых пакетов контрольных мер была рассчитана остаточная вероятность сценария после их внедрения и произведен анализ «затраты-эффективность» (Cost-Effectiveness Analysis, CEA). Эффективность меры (E) рассчитывалась как снижение балла риска (ΔR). Показатель $CE = \text{Затраты (руб.)} / \Delta R$. Меры с меньшим значением CE считаются более экономически эффективными.

Результаты и их обсуждение

Результаты полуколичественной оценки представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Полуколичественная оценка профессиональных рисков

№	Сценарий риска	Вероятность (P)	Тяжесть (S)	Уровень риска (R)	Оценка
1	Падение груза	4	6	24	Недопустимый
2	Опрокидывание крана	2	6	12	Недопустимый
3	Поражение эл. током	2	5	10	Недопустимый
4	Падение с высоты	3	4	12	Недопустимый

Примечание: Для тяжести (S) использована расширенная шкала до 6 баллов (катастрофа).

Как видно из таблицы, все ключевые сценарии получили оценку «недопустимый риск», причем сценарий «Падение груза» имеет наивысший балл ($R=24$) в основном за счет высокой вероятности, подтвержденной статистикой (в среднем 1 инцидент с падением/срывом груза на предприятии в год на 5 кранов).

Для данного сценария было построено «дерево отказов» (Рисунок 1). Анализ выявил 3 минимальных набора отказов (МНО), ведущих к реализации BC: 1) Отказ стропов/оснастки (разрыв, соскальзывание); 2) Ошибка машиниста (превышение грузоподъемности, резкий подъем/поворот); 3) Отказ техники (выход из строя гидросистемы подъема, отказ предохранительного клапана).

Расчетные вероятности базовых событий:

- $P(\text{Отказ стропы}) = 8.5 \cdot 10^{-3}$ (на основе данных о ежегодной частоте разрыва строп на предприятии).

- $P(\text{Ошибка машиниста}) = 5.2 \cdot 10^{-2}$ (рассчитана по методу THERP на основе данных поведенческих аудитов).

- $P(\text{Отказ гидросистемы}) = 3.1 \cdot 10^{-4}$ (по данным производителя крана на наработку на отказ).

Используя формулу для вентилля «ИЛИ», общая вероятность BC ($P_{BC-исх}$) составила приблизительно $6.1 \cdot 10^{-2}$, что соответствует примерно 6 событиям на 100 крано-лет и подтверждает высокую оценку вероятности ($P=4$) в матрице.

Далее проведена оценка эффективности трех пакетов мер:

1. Мера А: Установка современной системы ограничения грузового момента (СОГМ), блокирующей опасные движения. Стоимость: 1 800 000 руб. Эффективность: снижает вероятность ошибки машиниста и отказа системы в 10 раз ($P_{\text{ошибки}} =$

$5.2 \cdot 10^{-3}$, $P_{\text{отказа_гидро}} = 3.1 \cdot 10^{-5}$). Новая $P_{\text{BC_A}} = 1.4 \cdot 10^{-2}$.

2. Мера Б: Внедрение регулярной программы поведенческого аудита безопасности (ППАБ) с коучингом. Годовые затраты: 350 000 руб. (тренинг, работа координатора). Эффективность: снижает вероятность ошибки машиниста в 5 раз ($P_{\text{ошибки}} = 1.04 \cdot 10^{-2}$). Новая $P_{\text{BC_B}} = 2.9 \cdot 10^{-2}$.
3. Мера В: Комплекс: СОГМ + ППАБ + обязательный ежедневный контроль давления в шинах (устраняет фактор риска опрокиды-

вания, косвенно влияющий на стабильность). Суммарные затраты: $1\,800\,000 + 350\,000 + 50\,000$ (датчики) = 2 200 000 руб. Эффективность: комбинированное влияние, $P_{\text{BC_B}} = 2.7 \cdot 10^{-3}$.

Для перевода в баллы матрицы использовалась обратная шкала: $P < 10^{-4} = 1$, $10^{-4} - 10^{-3} = 2$, $10^{-3} - 10^{-2} = 3$, $>10^{-2} = 4$. Тяжесть оставалась неизменной ($S=6$). Результаты расчета остаточного риска и анализа «затраты-эффективность» представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная эффективность контрольных мер для сценария «Падение груза»

Мера	Затраты, тыс. руб.	Исходный R	Остаточный R	ΔR (снижение)	СЕ (Затраты/ ΔR), тыс. руб./балл
Исходно	0	24	24	0	–
А	1 800	24	12	12	150.0
Б	350	24	18	6	58.3
В	2 200	24	4	20	110.0

Примечание: Остаточный риск $R = P_{\text{новое}} \cdot S$ (с учетом пересчитанной P).

Анализ данных Таблицы 2 позволяет сделать следующие выводы:

1. Все меры снижают риск до допустимых или приемлемых границ.
2. Мера В (комплекс) демонстрирует максимальную профилактическую эффективность ($\Delta R=20$, остаточный риск 4 балла – «приемлемый»).
3. Мера Б (ППАБ) является самой экономически эффективной ($CE=58.3$), обеспечивая значительное снижение риска при относительно низких затратах, но оставляет риск на границе «недопустимого».
4. Мера А (СОГМ) представляет собой сбалансированный вариант, существенно снижая риск (до «допустимого») с хорошим показателем СЕ (150.0), особенно если рассматривать разовые капитальные затраты против ежегодных у Меры Б.

Таким образом, для стратегического долгосрочного управления риском оптимальным является внедрение Меры В. В условиях ограничен-

ного бюджета или в качестве первоочередного шага рекомендуется Мера Б с последующим переходом к Мере А.

Заключение

В результате проведенного исследования была успешно апробирована комбинированная методика количественной оценки профессионального риска, сочетающая матричный анализ и метод «дерева отказов». На примере сценария «Падение груза» для машиниста стрелового самоходного крана получены конкретные численные значения вероятности события ($6.1 \cdot 10^{-2}$), подтвердившие его высокую опасность. Главным научным результатом является разработанный алгоритм экономического обоснования выбора контрольных мер на основе анализа «затраты-эффективность». Установлено, что даже при ограниченном бюджете возможно существенное снижение риска за счет организационных мер (поведенческие аудиты), однако для перевода риска в категорию приемлемых необходимы тех-

нические средства защиты (СОГМ). Практическая ценность работы заключается в предоставлении службам охраны труда конкретного расчетного инструментария, позволяющего перейти от субъективных экспертных оценок к обоснованному, цифровому управлению профессиональными рисками. Перспективой дальнейших исследований является интеграция данной модели в BIM- и IoT-среды для создания системы динамического мониторинга рисков на строительной площадке в реальном времени.

Список литературы:

- [1] Государственный доклад «О состоянии условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году». М.: Минтруд России, 2023. 215 с.
- [2] РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов». Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 10.07.2001 № 30.
- [3] Аналитический отчет Ассоциации «Строй-безопасность» «Статистика и причины аварийности при работе грузоподъемной техники в 2018-2022 гг.». М., 2023. 54 с.
- [4] ISO 12100:2010 Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
- [5] ГОСТ Р ИСО 14121-1-2014 Безопасность оборудования. Оценка риска. Часть 1. Принципы.
- [6] Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2016. 456 с.
- [7] Ericson, C.A. Hazard Analysis Techniques for System Safety. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2015. 624 p.
- [8] Приказ Минтруда России от 19.08.2021 № 438н «Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда».

[9] Федоров Д.С. Надежность технических систем и техногенный риск: учебник. СПб.: Политехника, 2019. 320 с.

[10] Данные внутренней отчетности и исследований несчастных случаев ООО «Пром-Маш» за 2018-2023 гг. (архив службы охраны труда).

References:

- [1] State Report "On the State of Occupational Health and Safety in the Russian Federation in 2022." M.: Ministry of Labor of Russia, 2023. 215 pp.
- [2] RD 03-418-01 "Methodological Guidelines for Risk Analysis of Hazardous Production Facilities." Approved by Decree of Gosgortekhnadzor of Russia No. 30 dated 10.07.2001 .
- [3] Analytical report of the Association "Stroy-bezopasnost" "Statistics and causes of accidents during the operation of lifting equipment in 2018-2022." M., 2023. 54 pp.
- [4] ISO 12100:2010 Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
- [5] GOST R ISO 14121-1-2014 Safety of equipment. Risk assessment. Part 1. Principles.
- [6] P.P. Kukin, V.L. Lapin, N.L. Ponomarev et al. Life safety. Occupational safety and health: training manual. M.: Higher School, 2016. 456 pp.
- [7] Ericson, C.A. Hazard Analysis Techniques for System Safety. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2015. 624 p.
- [8] Order of the Ministry of Labor of Russia No. 438n dated 19.08.2021 "On Approval of the Model Regulation on the Occupational Safety and Health Management System."
- [9] Fedorov D.S. Reliability of technical systems and man-made risk: textbook. St. Petersburg: Polytechnic, 2019. 320 s.
- [10] Data on internal reporting and accident investigations of PromMash LLC for 2018-2023 (occupational health service archive).



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.