

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

TECHNOSPHERE SAFETY



УДК 614.841.4:622.276

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2026-10-1-19-31>

Комплексное управление пожарными и профессиональными рисками на предприятиях

Л.Ю. Фомичев¹  , И.А. Минаева¹ , С.П. Сухарский² ,С.В. Батманов² , Я.М. Кузнецов² ¹ Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация² Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация✉ fomichev.lu@yandex.ru

EDN: BPHDVL

Аннотация

Введение. Обеспечение пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли является одной из самых важных задач в системе управления охраной труда, поскольку такие объекты характеризуются высокой концентрацией пожароопасных и взрывоопасных веществ. Согласно статистическим данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), около 38 % аварий на объектах нефтегазового комплекса связано с пожарами и взрывами. Вступление в силу новой методики определения расчетных величин пожарного риска, а также требований к системе управления охраной труда обуславливает необходимость формирования интегрированного подхода к управлению пожарными рисками. Научная проблема состоит в отсутствии комплексной методологии, которая бы увязывала процедуры оценки пожарного риска с процессами управления профессиональными рисками в рамках единой системы. Целью данного исследования является разработка интегрированной системы управления пожарными рисками, ориентированной на повышение эффективности обеспечения безопасности труда на предприятиях нефтегазовой отрасли.

Материалы и методы. Методология исследования основана на системном подходе к интеграции процедур оценки пожарного риска согласно приказу МЧС России № 533 с процессами управления охраной труда (СУОТ). Базу исследования составили данные с 12 объектов нефтегазовой отрасли: четыре установки подготовки газа, три компрессорные станции, три нефтеперекачивающие станции и две газораспределительные станции. Основным объектом — установка подготовки газа в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). Исходными данными служили материалы по авариям за период не менее трех лет. Для определения поправочных коэффициентов СУОТ привлечена группа экспертов: специалисты по пожарной безопасности, инженеры по охране труда и технологи. Экспертная оценка проводилась методом Дельфи с анализом согласованности по коэффициенту конкордации Кендалла ($W = 0,82$). В рамках исследования разрабатывались математическая модель с поправочными коэффициентами и интегрированная матрица опасностей. На первом этапе были проведены идентификация и классификация опасностей согласно ст. 9 Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». На втором этапе построены логические деревья событий, расчет интегрированных показателей с использованием JupyterNotebook (Python, библиотеки Pandas, Scipy, NumPy) и сопоставление с традиционными методиками.

Результаты исследования. Разработана интегрированная система управления пожарными рисками, включающая в себя пять взаимосвязанных процессов: идентификация опасностей, оценка риска, разработка мер управления, мониторинг и постоянное улучшение. Предложена математическая модель расчета потенциального пожарного риска с введением коэффициента интеграции СУОТ, который позволяет учесть влияние организационных и технических мер охраны труда на вероятность и последствия пожаров. В рамках интегрированного подхода выявлено 47 видов опасностей против 35 при использовании традиционной методики, что свидетельствует о более детализированной идентификации источников риска. Установлено снижение пожарного риска на 22–26 % при применении интегрированной системы, по сравнению с базовым уровнем.

Обсуждение. Применение интегрированного подхода обеспечивает повышение эффективности управления профессиональными рисками на 25–30 % за счет выраженного синергетического эффекта, подтвержденного сравнительным анализом традиционных и предлагаемых методов оценки рисков на нефтегазовых объектах. Указанный эффект формируется благодаря комплексному учету мероприятий СУОТ, влияющих на частоту возникновения и тяжесть последствий пожароопасных сценариев, с одновременным учетом ограничений применения методики, таких как зависимость от полноты и репрезентативности данных по авариям (не менее трех лет наблюдений) и ориентация преимущественно на объекты с непрерывными технологическими процессами. Полученные результаты согласуются с международными исследованиями по интеграции систем безопасности, где аналогичные подходы демонстрируют повышение точности идентификации опасностей на 20–35 % и улучшение качества последующей оценки рисков.

Заключение. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования систем управления безопасностью на предприятиях нефтегазовой отрасли, включая внедрение разработанной математической модели с коэффициентами СУОТ для снижения пожарных рисков на 22–26 %. Предложенная интегрированная система вносит вклад в развитие научных основ управления рисками в промышленности, открывая перспективы дальнейших исследований по адаптации данного подхода к морским объектам, а также к условиям вечной мерзлоты и других экстремальных природно-климатических зон. Рекомендуется применение модели для оптимизации распределения ресурсов в СУОТ с учетом результатов экспертной валидации и регулярного пересмотра параметров по мере накопления статистических данных.

Ключевые слова: пожарная безопасность, нефтегазовая отрасль, система управления охраной труда, профессиональные риски, пожарный риск, идентификация опасностей, математическое моделирование, интегрированная система управления, производственная безопасность, СУОТ



Благодарности. Авторы выражают благодарность заведующей кафедрой промышленной безопасности и охраны окружающей среды Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) им. И.М. Губкина, доктору технических наук, профессору Елене Витальевне Глебовой за помощь в получении данных, позволивших провести исследование.

Для цитирования. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Сухарский С.П., Батманов С.В., Кузнецов Я.М. Комплексное управление пожарными и профессиональными рисками на предприятиях. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2026;10(1):19–31. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2026-10-1-19-31>

Original Empirical Research

Integrated Management of Fire and Occupational Risks at Enterprises

Leonid Yu. Fomichev¹  , Irina A. Minaeva¹ , Stanislav P. Sukharsky² ,

Sergei V. Batmanov² , Yaroslav M. Kuznetsov² 

¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

✉ fomichev.lu@yandex.ru

Abstract

Introduction. Ensuring fire safety at oil and gas enterprises is a crucial aspect of occupational health and safety management system. These facilities are known to have a high concentration of flammable and explosive materials. According to statistics from the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor), approximately 38% of accidents at oil and gas facilities are related to fires and explosions. The introduction of a new method for calculating fire risk values and requirements for the occupational safety and health management system necessitates an integrated approach to fire risk management. The scientific problem is the lack of a comprehensive methodology linking fire risk assessment procedures with occupational risk management processes within a single system. The purpose of this research is to create an integrated fire risk management system that aims to enhance the effectiveness of occupational safety in oil and gas industry.

Materials and Methods. The research methodology was based on a systematic approach to integrating fire risk assessment procedures in accordance with Order No. 533 of the Ministry of Emergency Situations of Russia and Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) processes. The research base consisted of data from 12 oil and gas industry facilities: four gas treatment units, three compressor stations, three oil pumping stations, and two gas distribution stations. The main facility was a gas treatment unit located in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YNAO). Initial data were collected over a period of at least three years, and a group of experts, including fire safety specialists, occupational safety engineers, and process specialists, was involved in determining the OHSMS

correction factors. Expert evaluation was conducted using the Delphi method, with consistency analysis using the Kendall's coefficient of concordance ($W = 0.82$). As part of the research, a mathematical model with correction factors and an integrated hazard matrix was developed. At the first stage, identification and classification of hazards were carried out in accordance with Article 9 of Federal Law No. 123-FZ “Technical Regulations on Fire Safety Requirements”, dated July 22, 2008. At the second stage, logical event trees were built and integrated metrics were calculated using Jupyter Notebook (Python, Pandas, Scipy, NumPy libraries), and compared with traditional methods.

Results. An integrated fire risk management system was developed, which included five interrelated processes: hazard identification, risk assessment, development of management measures, monitoring and continuous improvement. A mathematical model for calculating potential fire risk was proposed, introducing the OHSMS integration coefficient, which allows for the consideration of the impact of organizational and technical occupational safety measures on fire likelihood and consequences. Within the integrated approach, 47 types of hazards were identified compared to 35 using the traditional methods, indicating more detailed risk source identification. The fire risk was reduced by 22–26% when using the integrated system compared to the baseline level.

Discussion. The use of an integrated approach to occupational risk management can increase its efficiency by 25–30%, due to a synergistic effect that has been confirmed by a comparative analysis of traditional and proposed risk assessment methods at oil and gas facilities. This effect is achieved through the integrated consideration of OHSMS measures, which affect the frequency and severity of fire-related incidents, while taking into account the limitations of the methodology, such as dependence on the completeness and representativeness of accident data (at least three years of observations) and focusing mainly on objects with continuous technological processes. The results obtained are consistent with international research on safety system integration, which has shown that similar approaches can improve hazard identification accuracy by 20–35% and enhance the quality of risk assessments.

Conclusion. The results of this study can be used to improve safety management systems at oil and gas enterprises. This includes the introduction of a mathematical model with OHSMS coefficients to reduce fire risks by 22–26%. The proposed integrated system contributes to the development of scientific foundations for risk management in industry. It opens up prospects for further research on adapting this approach to marine facilities, as well as permafrost and other extreme climates. It is recommended to use the model to optimize resource allocation in OHSMS. This should take into account the results of expert evaluations and regular revisions of parameters as more statistical data becomes available.

Keywords: fire safety, oil and gas industry, occupational health and safety management system, occupational risks, fire risk, hazard identification, mathematical modeling, integrated management system, industrial safety, OHSMS

Acknowledgements. The authors would like to thank Elena V. Glebova, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Industrial Safety and Environmental Protection at the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), for her assistance in obtaining data that made this research possible.

For Citation. Fomichev LYu, Minaeva IA, Sukharsky SP, Batmanov SV, Kuznetsov YaM. Integrated Management of Fire and Occupational Risks at Enterprises. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2026;10(1):19–31. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2026-10-1-19-31>

Введение. Обеспечение пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли представляет собой важную задачу, особенно в контексте современных мировых трендов в области безопасности и охраны труда. Во многих странах все жестче становятся нормы и стандарты, касающиеся охраны окружающей среды и безопасности работников, что ставит перед нефтегазовой отраслью дополнительные вызовы. Отсутствие надлежащих мер по обеспечению пожарной безопасности может привести не только к катастрофическим последствиям для здоровья работников, но и к значительным финансовым потерям, включая компенсации пострадавшим, затраты на восстановление объектов и штрафы за нарушение законодательства. Игнорирование вопросов пожарной безопасности может вызвать разрушительные экологические последствия с массовыми утечками опасных веществ. Это, в свою очередь, может привести к негативному восприятию отрасли в целом. Таким образом, актуальность разработки и внедрения эффективных систем управления пожарными рисками в нефтегазовой отрасли становится неоспоримой, и острая необходимость в комплексном подходе к решению данной проблемы в условиях глобальных изменений требует незамедлительных действий. Анализ статистических данных по объектам нефтегазовой отрасли за период 2019–2023 годов показывает, что несмотря на проводимые мероприятия по обеспечению безопасности по-прежнему отмечаются значительные потери от пожаров и взрывов. Вступление в силу новой методики определения расчетных величин пожарного риска, а также требований к системе управления охраной труда обуславливает необходимость формирования интегрированного подхода к управлению пожарными рисками. Но на сегодняшний день комплексная методология, которая бы увязывала процедуры оценки пожарного риска с процессами управления профессиональными рисками в рамках единой системы, не выработана.

Согласно статистическим данным Ростехнадзора, в период с 2019 по 2023 год в среднем 38 % аварий на объектах нефтегазовой отрасли были связаны с пожарами и взрывами, что подчеркивает актуальность разработки эффективных систем управления пожарными рисками. На рис. 1 представлены данные об авариях на предприятиях нефтегазодобывающей промышленности за 2019–2023 годы. На рис. 2 показано количество несчастных случаев на объектах нефтегазодобывающей промышленности за этот же период.

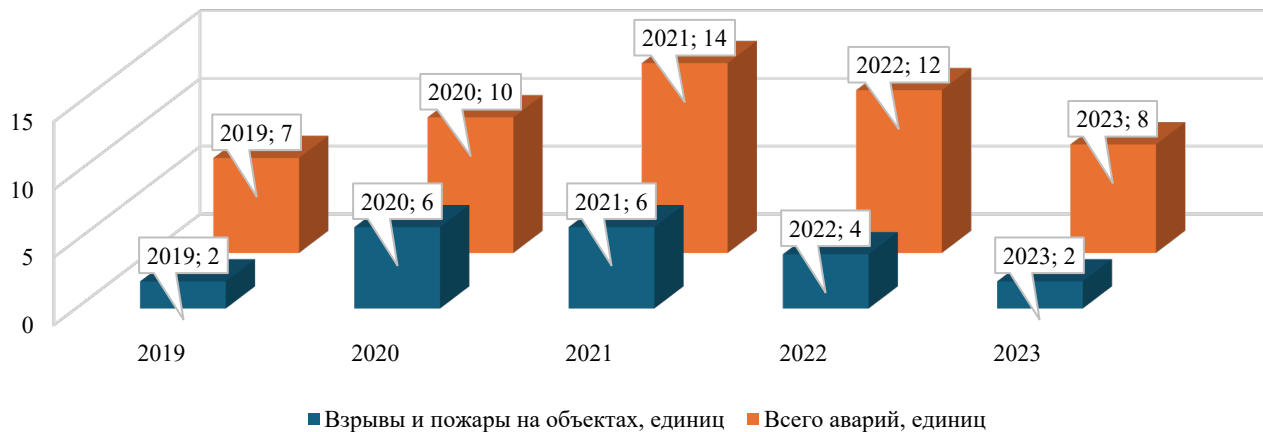


Рис. 1. Количество аварий на объектах нефтегазодобывающей промышленности в 2019–2023 годах

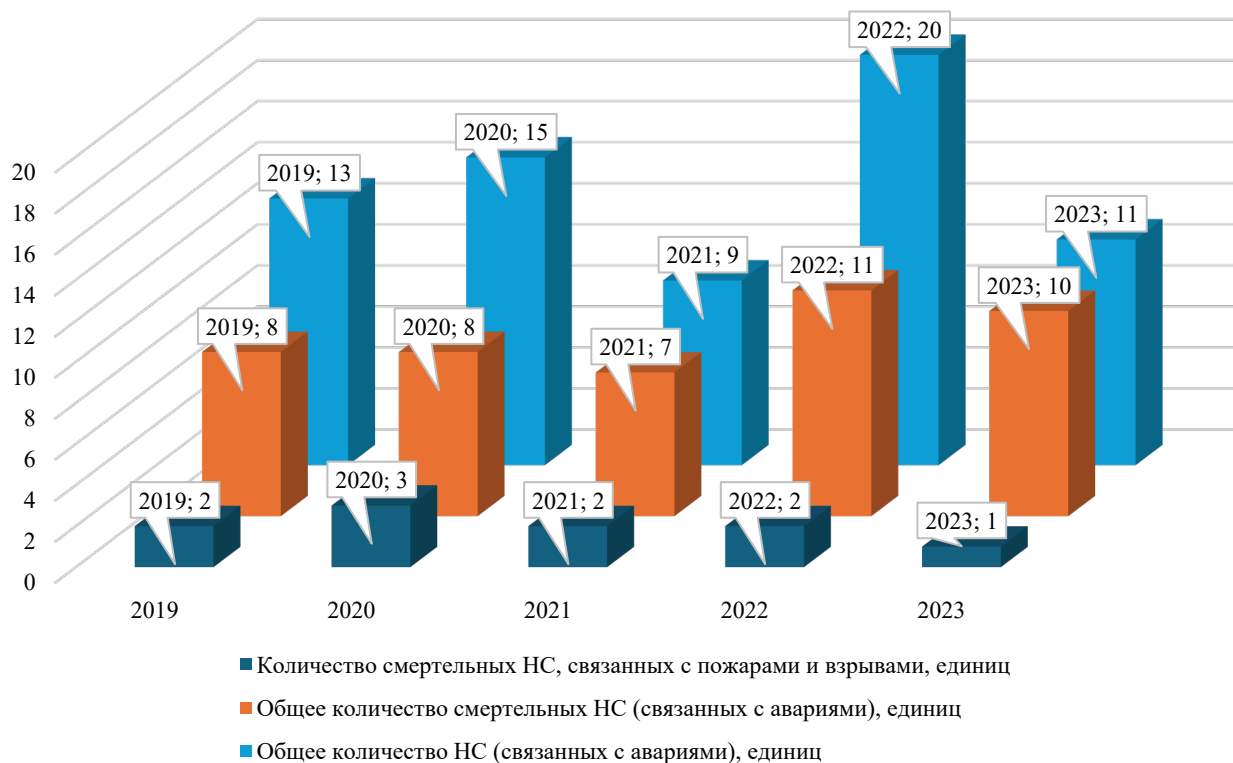


Рис. 2. Количество несчастных случаев на объектах нефтегазодобывающей промышленности в 2019–2023 годах

На графиках представлены динамика аварийности и связанные с ней последствия на объектах нефтегазовой промышленности за 2019–2023 годы. В течение этого периода доля аварий среди всех происшествий изменялась в диапазоне от 25 до 60 % при среднем значении 38 %. Минимальное количество аварий зафиксировано в 2023 году, что свидетельствует об эффективности проводимых мероприятий по управлению промышленной и пожарной безопасностью. Аналогичным образом доля несчастных случаев снизилась с 25 в 2019 году до 10 % в 2023 году, а среднее значение за пятилетний период составило 23 %. Средняя доля несчастных случаев, связанных с пожарами и взрывами, сохранялась на уровне около 24 %, демонстрируя устойчивую тенденцию к снижению.

Смертельные несчастные случаи, связанные с пожарами, на рассматриваемых объектах оставались на сравнительно низком уровне, что подтверждает результативность интеграции систем управления промышленной и пожарной безопасностью, а также реализуемых профилактических мероприятий [1]. Выявленные тенденции подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования подходов к обеспечению комплексной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли и актуальность продолжения работы по снижению уровней риска, частоты тяжелых и групповых инцидентов и масштабов их последствий [2].

Вступившая в силу с 1 января 2025 года новая методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (приказ МЧС России от 26.06.2024 № 533)¹ и действующее Примерное положение о системе управления охраной труда (приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н)² требуют разработки интегрированного подхода к управлению пожарными рисками в рамках общей системы управления охраной труда. В новой методике МЧС России сохранен исчерпывающий перечень опасных факторов пожара, определенный статьей 9 Федерального закона № 123-ФЗ, а также уточнены критерии поражения людей и подходы к моделированию сценариев развития пожара и оценке соответствующих рисков. Основные изменения касаются детализации расчетных процедур, требований к анализу исходных событий и обоснованию исходных данных, а не расширения перечня опасных факторов. Одновременно требования системы управления охраной труда предусматривают регулярное выявление опасностей и оценку профессиональных рисков, что формирует методологическую основу для интеграции процедур оценки пожарного риска в общую систему управления охраной труда [3].

Анализ современных научных исследований показывает, что в большинстве работ вопросы пожарной безопасности и охраны труда рассматриваются отдельно, без достаточной проработки их взаимосвязи [4]. Вместе с тем специфика нефтегазовой отрасли предполагает использование комплексного подхода [5], ориентированного на учет взаимовлияния различных видов профессиональных и пожарных рисков, а также их совокупного влияния на безопасность производственной деятельности [6].

Целью данного исследования является разработка интегрированной системы управления пожарными рисками, основанной на требованиях актуальной методики МЧС России и принципах системы управления охраной труда, для повышения эффективности обеспечения безопасности труда на предприятиях нефтегазовой отрасли и снижения вероятности возникновения опасных событий.

Материалы и методы. Методология исследования основана на системном подходе к интеграции процедур оценки пожарного риска согласно приказу МЧС России № 533 с процессами управления профессиональными рисками в рамках СУОТ согласно приказу Минтруда России № 776н. Исследование включает в себя разработку интегрированной матрицы опасностей, которая связывает первичные и сопутствующие пожарные опасности (согласно Федеральному закону № 123-ФЗ) с профессиональными рисками для различных категорий персонала. Для валидации методологии были привлечены эксперты в области пожарной безопасности и охраны труда, применены методы экспертной оценки и статистического анализа.

Исследование проведено на основе данных по 12 объектам нефтегазовой отрасли, расположенным в Ямало-Ненецком автономном округе и входящим в состав одной крупной акционерной нефтегазодобывающей компании. Для обеспечения репрезентативности выборки критериями включения в нее объектов являлись наличие установленной и функционирующей системы управления охраной труда, сертифицированной в соответствии с ГОСТ Р ИСО 45001, наличие задокументированной информации о производственных инцидентах за период не менее пяти лет, наличие данных о проведенных проверках органами надзора в области промышленной безопасности и охраны труда, разнообразии технологических процессов и типов оборудования. Выборка включала в себя четыре установки подготовки газа с производительностью от 15 до 45 млн м³/сутки и рабочим давлением до 25 Мпа, три компрессорные станции ступенькового сжатия производительностью 40–80 млн м³/сутки общей мощностью 12–32 МВт и давлением нагнетания до 10 Мпа, три нефтеперекачивающие станции (нефтепровод) производительностью 8–25 млн тонн в год и давлением подачи до 6 Мпа, две газораспределительные станции (ГРС) с давлением редуцирования от 2,5 до 1,2 МПа и производительностью до 3,5 млн м³/сутки. Для каждого объекта были собраны и проанализированы следующие данные: акты и протоколы проверок органов надзора в области промышленной безопасности и охраны труда за 2018–2023 годы, реестры производственных инцидентов, включая случаи нарушения целостности трубопроводов, утечек углеводородов, отказов оборудования и травм персонала, результаты анализа опасностей, проведенного компанией (HAZOP, анализ видов и последствий отказов), параметры оборудования, извлеченные из технической документации и паспортов установок, данные о сценариях развития пожаров, рассчитанные с использованием моделей в программных ком-

¹ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий № 533 от 26.06.2024. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202409030008> (дата обращения: 18.12.2025).

² Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=409457> (дата обращения: 28.10.2025)

плексах (PHAST, ALOHA или эквивалентных), информация о выполненных мероприятиях по охране труда и пожарной безопасности, отчеты о происшествиях и листки нетрудоспособности, связанные с профессиональными рисками. База данных о нарушениях требований пожарной и промышленной безопасности была составлена на основе открытых реестров органов надзора и внутренних реестров компании.

Предлагаемая интегрированная система включает в себя следующие взаимосвязанные процессы. Первый процесс — идентификация пожарных опасностей в рамках общего процесса выявления профессиональных рисков согласно СУОТ. Второй — оценка пожарного риска с использованием методики МЧС России № 533. Третий — разработка мер управления интегрированными рисками. Четвертый — мониторинг и контроль эффективности принятых мер. Пятый — постоянное улучшение системы управления рисками [7].

Математическая модель интегрированной оценки рисков содержит расчет потенциального пожарного риска в рамках интегрированной системы и определяется по формуле:

$$P_{\text{инт.}}(a) = K_{\text{СУОТ}} \cdot \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{\text{оij}}(a), \quad (1)$$

где $K_{\text{СУОТ}}$ — коэффициент интеграции с СУОТ, учитывающий эффективность системы управления охраной труда; J — число сценариев возникновения пожара; Q_j — частота реализации j -го сценария пожара, год⁻¹; $Q_{\text{оij}}(a)$ — условная вероятность поражения человека при реализации j -го сценария.

Коэффициент интеграции с СУОТ определяется по формуле:

$$K_{\text{СУОТ}} = K_{\text{иден.}} \cdot K_{\text{обуч.}} \cdot K_{\text{конт.}} \cdot K_{\text{улуч.}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{иден.}}$ — коэффициент эффективности идентификации опасностей (0,8–1,2); $K_{\text{обуч.}}$ — коэффициент эффективности обучения персонала (0,7–1,1); $K_{\text{конт.}}$ — коэффициент эффективности контроля (0,8–1,3); $K_{\text{улуч.}}$ — коэффициент постоянного улучшения (0,9–1,1).

Для определения значений коэффициентов и валидации модели была привлечена группа из 15 экспертов: пять специалистов по пожарной безопасности со стажем работы от 8 до 25 лет, пять инженеров по охране труда со стажем от 6 до 20 лет и пять технологов производства со стажем от 10 до 30 лет. Критериями отбора экспертов являлись наличие высшего профильного образования, опыт работы на объектах нефтегазовой отрасли не менее пяти лет, наличие сертификатов в области промышленной безопасности, а также отсутствие конфликта интересов с исследуемыми объектами. Экспертная оценка коэффициентов $K_{\text{иден.}}$, $K_{\text{обуч.}}$, $K_{\text{конт.}}$, $K_{\text{улуч.}}$ проводилась методом Дельфи в три раунда в формате анонимного анкетирования: в первом раунде эксперты давали индивидуальные оценки (в пределах заранее заданных допустимых значений), во втором раунде им предоставлялась агрегированная сводка по группе (медиана и межквартильный размах по каждому коэффициенту) с предложением уточнить ответы, в третьем раунде выполнялось подтверждение согласованных значений. Достижение согласованности контролировалось по коэффициенту конкордации Кендалла ($W = 0,82$). Итоговые значения коэффициентов определялись как медианы экспертных оценок, а интервальные значения (диапазоны) задавались границами межквартильного размаха (25-й и 75-й перцентили) с последующим округлением до удобных для практического применения значений.

Значения коэффициентов в формуле (2) определены на основе экспертной оценки с использованием метода Дельфи и статистического анализа согласованности Кендалла. Диапазоны выбраны с учетом данных аналогичных исследований [6–10]: $K_{\text{иден.}}$ отражает вариабельность выявления опасностей в зависимости от полноты баз данных, $K_{\text{обуч.}}$ — влияние уровня подготовки персонала на снижение частоты инцидентов, $K_{\text{конт.}}$ — эффективность мониторинга оборудования по историческим данным аварий, $K_{\text{улуч.}}$ — вклад итеративных улучшений СУОТ в долгосрочное снижение рисков.

В качестве методов статистической обработки использовались коэффициент конкордации Кендалла для оценки согласованности экспертов ($W = 0,82$), дисперсионный анализ ANOVA для определения значимости различий между группами, а также корреляционный анализ Пирсона для выявления связей между параметрами. Расчеты производились в среде разработки JupyterNotebook на языке Python с применением библиотек Matplotlib, Pandas, Scipy, NumPy.

В таблице 1 представлена интегрированная матрица опасностей, разработанная на основе анализа требований приказа Минтруда России № 776н (система управления профессиональными рисками) и методики МЧС России № 533 (оценка пожарного риска) с учетом классификации пожаров по ст. 8 Федерального закона № 123-ФЗ (классы А–F) и исчерпывающего перечня опасных факторов пожара по ст. 9 (первичные факторы: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура, токсичные продукты, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости; сопутствующие: осколки, радиоактивные/токсичные вещества, вынос высокого напряжения, факторы взрыва, воздействие огнетушащих веществ). Матрица обеспечивает комплексную идентификацию опасностей, связывая их с профессиональными рисками для нефтегазовых объектов, где преобладают классы В (горючие жидкости), С (газы) и Е (электроустановки под напряжением).

При построении матрицы для каждой опасности фиксировались соответствующий опасный фактор пожара (первичный/сопутствующий), связь с профессиональным риском, критерий присвоения уровня риска, задаваемый через диапазон вероятности реализации сценария (год⁻¹), и ожидаемая тяжесть последствий для персонала (например, ожоги/отравление/электроудар).

Матрица применялась для качественной ранжировки опасностей и выбора приоритетных мер управления, а также как вход для построения логических деревьев событий. При этом значения поправочных коэффициентов $K_{иден.}$, $K_{обуч.}$, $K_{конт.}$, $K_{луч.}$ определялись отдельно по экспертной процедуре (метод Дельфи) и затем подставлялись в формулу (2).

Таблица 1

Интегрированная матрица опасностей на объектах нефтегазовой отрасли

Группа опасностей (по приказу 776н)	Опасность (пример для нефтегазовой отрасли)	Опасный фактор (ст. 9 123-ФЗ)	Тип фактора	Связь с профессиональным риском (приказ 776н)	Уровень риска	Критерий присвоения
Механические	Разгерметизация трубопроводов газа	Осколки от разрушения оборудования	Сопутствующий	Риск травмирования при обслуживании	Высокий	Вероятность > 0,01 год ⁻¹ + >50 чел. персонала
Термические	Возгорание паров углеводородов	Пламя и искры, тепловой поток	Первичный	Ожоги и тепловые травмы	Высокий	Вероятность > 0,001 год ⁻¹ + тяжелые ожоги
Химические	Выброс токсичных газов при пожаре	Повышенная концентрация токсичных продуктов	Первичный	Отравление/проф. заболевание	Средний	Вероятность — 0,0001–0,001 год ⁻¹ + зона токсичности
Взрывопожароопасные	Взрыв газовой-душной смеси	Опасные факторы взрыва	Сопутствующий	Ударная волна, травмы	Высокий	Вероятность > 0,001 год ⁻¹ + ударная волна
Электрические	Короткое замыкание в электроустановках	Поражение электрическим током, поражение электрической дугой	Сопутствующий	Поражение электрическим током	Средний	Вероятность — 0,0001–0,001 год ⁻¹ + электроудар
Токсикологические	Дым от горения изоляции	Снижение видимости, пониженная концентрация O ₂	Первичный	Удушье, дезориентация	Высокий	Вероятность > 0,01 год ⁻¹ + удушье/дезориентация
Физические	Повышенная температура в компрессорной	Повышенная температура	Первичный	Тепловой стресс	Средний	Вероятность — 0,0001–0,001 год ⁻¹ + тепловой стресс

Расширенная матрица учитывает классификационные признаки опасных факторов пожара по Федеральному закону № 123-ФЗ, обеспечивая полное покрытие первичных и сопутствующих проявлений. Интеграция с приказом № 776н позволяет систематически выявлять опасности в СУОТ, минимизируя профессиональные риски (травмы, заболевания) на объектах с высокой пожароопасностью. Валидация интегрированной матрицы опасностей выполнена экспертной группой в рамках экспертной процедуры (метод Дельфи): эксперты оценивали 1) полноту покрытия опасных факторов пожара по ст. 9 Федерального закона № 123-ФЗ (наличие первичных и сопутствующих факторов), 2) корректность отнесения опасностей к группам по приказу Минтруда России № 776н, 3) обоснованность связей «опасность — профессиональный риск» для категорий персонала, 4) однозначность формулировок строк матрицы и 5) обоснованность присвоения уровня риска по критериям, приведенным в соответствующем столбце «Критерий присвоения». По результатам анализа замечаний экспертов уточнены формулировки отдельных строк и критерии присвоения уровней риска, итоговая версия матрицы признана применимой для нефтегазовых объектов в рамках предложенного подхода.

Построение логических деревьев событий осуществлялось с учетом влияния мероприятий системы управления охраной труда на развитие пожароопасных ситуаций. Расчет интегрированных рисков выполнялся с применением поправочных коэффициентов, отражающих эффективность функционирования системы управления охраной труда.

Для учета влияния СУОТ на частоту реализации пожароопасных ситуаций использована модифицированная формула:

$$Q_{j, \text{мод}} = Q_{j, \text{баз}} \cdot \prod_{k=1}^n (1 - E_k \cdot P_k), \quad (3)$$

где $Q_{j, \text{баз}}$ — базовая частота реализации j -го сценария; E_k — эффективность k -го мероприятия СУОТ; P_k — вероятность срабатывания k -го мероприятия; n — количество применимых мероприятий СУОТ [11].

Для проведения количественной оценки потенциального пожарного риска на территории установки подготовки газа были выбраны пять контрольных точек (А–Е), характеризующих различные зоны потенциального воздействия опасных факторов пожара. Точка А соответствовала зоне компрессорного оборудования (высокое давление и высокая концентрация технологического оборудования), точка В — зоне установки осушки газа, точка С — зоне газоочистного оборудования, точка D — административно-бытовой зоне, точка Е — границе санитарно-защитной зоны объекта.

Сбор исходных данных для разработки интегрированной системы выполнен по 12 объектам нефтегазовой отрасли, включенным в выборку; при этом установка подготовки газа в ЯНАО использовалась как базовый объект для детализированной апробации и калибровки расчетных процедур. Объект включал в себя различное технологическое оборудование для полного цикла осушки и очистки природного газа. По результатам обработки данных с объектов зарегистрирована база данных о нарушениях требований пожарной и промышленной безопасности [12].

Результаты исследования. В рамках интегрированного подхода выявлено 47 видов опасностей, из которых 23 относятся к пожарным опасностям, 18 — к общим профессиональным рискам и 6 — к комбинированным опасностям, требующим специального рассмотрения (таблица 2).

Таблица 2

Результаты интегрированной идентификации опасностей

Тип опасности	Количество выявленных опасностей	Критический уровень риска	Требуемые меры управления
Пожарные	23	8	Технические и организационные
Профессиональные	18	5	Преимущественно организационные
Комбинированные	6	6	Комплексные меры

Результаты сравнения различных подходов к управлению рисками представлены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение эффективности различных подходов к управлению рисками

Показатель	Традиционный подход	Интегрированный подход
Количество выявленных опасностей	35	47
Точность оценки риска	0,75	0,92

Результаты расчета потенциального пожарного риска по контрольным точкам (А–Е) показаны на рис. 3. Анализ значений потенциального пожарного риска, рассчитанных по традиционной методике и с использованием предложенного интегрированного подхода, свидетельствует, что интегрированный подход обеспечивает более консервативную оценку риска во всех контрольных точках объекта. Наибольшее различие наблюдается в точке А, где интегрированная оценка превышает традиционную на 17 %, что связано с учетом дополнительных факторов, влияющих на развитие пожароопасных ситуаций. Такое различие в оценках подтверждает необходимость применения интегрированного подхода для получения более точной картины пожарных рисков на объектах нефтегазовой отрасли.

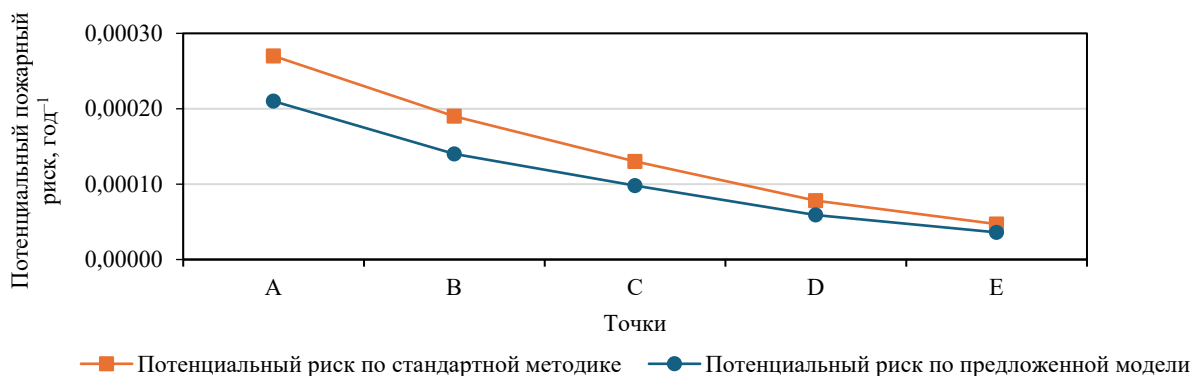


Рис. 3. Сравнение потенциального пожарного риска по контрольным точкам

Результаты расчета потенциального пожарного риска с учетом интеграции с СУОТ представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения интегрированного потенциального пожарного риска

Точка	Традиционная методика, год ⁻¹	Интегрированный подход, год ⁻¹	Снижение риска, %
A	$2,7 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	22
B	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	26
C	$1,3 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-5}$	5
D	$7,8 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-5}$	24
E	$4,7 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$	23

Сравнительный анализ результатов подтвердил, что интегрированный подход снижает расчетные значения потенциального пожарного риска во всех контрольных точках (А–Е), по сравнению с традиционной методикой. Наибольшее снижение получено в точке В (26 %), наименьшее — в точке С (5 %), что отражает различия в технологической нагрузке и условиях формирования пожароопасных сценариев в соответствующих зонах объекта.

Данные сравнительного анализа индивидуального пожарного риска для различных категорий работников представлен на рис. 4. График наглядно демонстрирует различия в уровне риска по традиционной методике и предложенной интегрированной модели для всех категорий персонала. Наибольшие значения риска характерны для операторов технологических установок, что обусловлено их непосредственным контактом с пожароопасным оборудованием и веществами. Интегрированная модель показывает увеличение оценочного риска на 22–29 % для всех категорий работников, по сравнению со стандартной методикой. Это различие особенно важно для операторов и обслуживающего персонала, поскольку их риск приближается к предельно допустимому значению 10–4 год⁻¹, установленному для производственных объектов со спецификой функционирования технологических процессов согласно приказу МЧС России № 533.

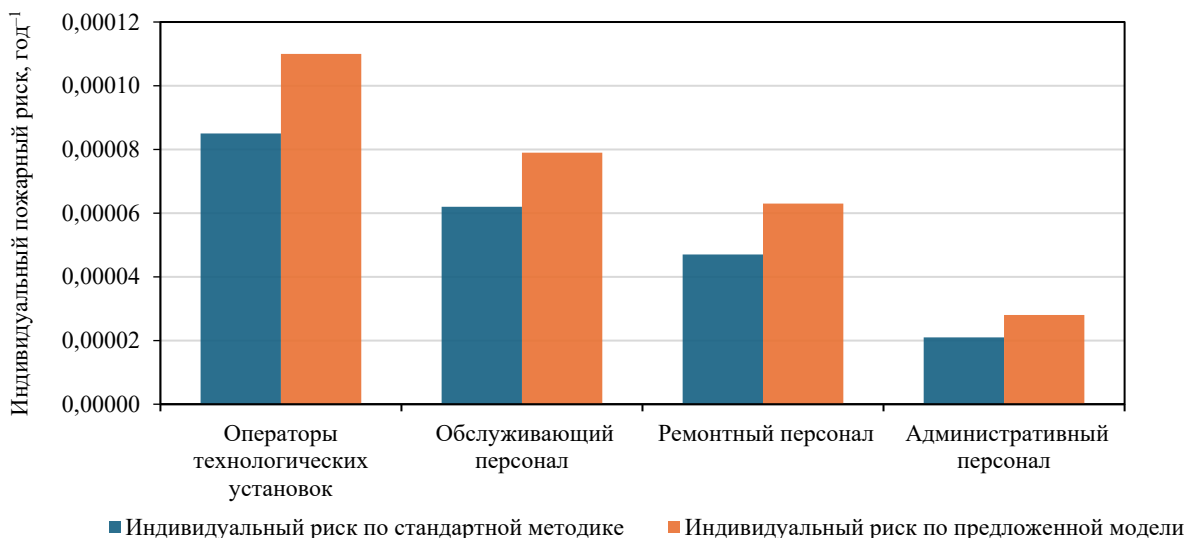


Рис. 4. Индивидуальный пожарный риск по категориям работников

Для оценки вклада различных элементов СУОТ в снижение пожарного риска был проведен анализ эффективности отдельных мероприятий. Наибольший эффект в снижении пожарного риска обеспечивает контроль состояния оборудования, что объясняется важностью его технического состояния для предотвращения разгерметизации и утечек. Обучение персонала показал второй по эффективности результат (18 % снижения), при этом он характеризуется наилучшим соотношением эффективность/стоимость. Анализ соотношения эффективности и затрат позволяет оптимизировать распределение ресурсов при внедрении мероприятий СУОТ.

Динамика изменения индивидуального пожарного риска в процессе поэтапного внедрения интегрированной системы представлена на рис. 5. График демонстрирует постепенное снижение риска для всех категорий работников по мере реализации элементов СУОТ. Наиболее значительное снижение риска наблюдается на этапе внедрения системы контроля, что подтверждает критическую важность мониторинга состояния оборудования и соблюдения требований безопасности. Операторы технологических установок, как наиболее подверженные рискам, показывают наибольшее абсолютное снижение риска — с $1,1 \times 10^{-4}$ до $6,3 \times 10^{-5}$ год⁻¹. Полная интеграция всех элементов СУОТ обеспечивает достижение целевых значений риска для всех категорий работников.

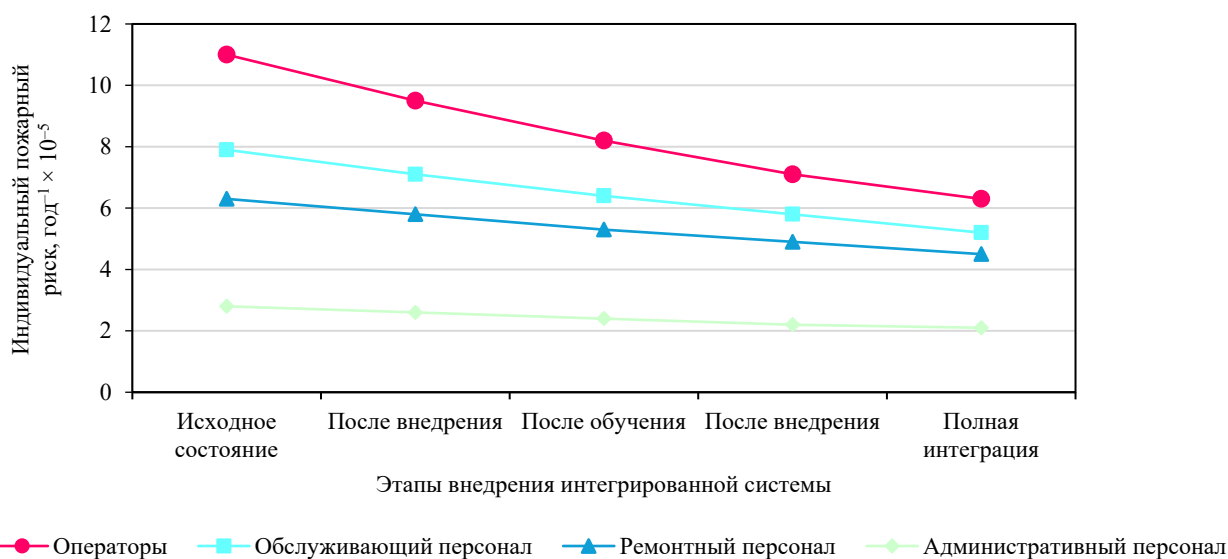


Рис. 5. Динамика снижения индивидуального пожарного риска при внедрении интегрированной системы

Обсуждение. Интегрированная вероятностно-статистическая модель оценки рисков, учитывающая элементы системы управления охраной труда и пожарной безопасностью (СУОТ), позволяет количественно оценивать динамику рисков при поэтапном внедрении мероприятий. Применение модели на объектах нефтегазовой отрасли подтвердило ее пригодность для анализа влияния как технических, так и организационных решений на уровень пожарной и производственной безопасности. Результаты показали, что исходные (базовые) значения рисков без действия элементов СУОТ могут быть существенно выше традиционно принимаемых оценок из-за учета большого числа сценариев, отказов и человеческого фактора. Вместе с тем пошаговое внедрение мер, предусмотренных системой управления, обеспечивает заметное снижение как потенциальных, так и индивидуальных пожарных рисков до допустимых ориентиров. Это подчеркивает важность перехода от формального выполнения требований к управлению на основе количественных показателей.

Особое значение имеют система контроля технического состояния оборудования, своевременное техническое обслуживание, обучение и подготовка персонала. Моделирование продемонстрировало, что именно эти элементы обладают наибольшим эффектом в снижении частоты иницирующих событий и ошибочных действий, при этом характеризуются благоприятным соотношением «эффективность — затраты». Учет их влияния в интегрированной модели позволяет обосновывать приоритеты при планировании мероприятий и распределении ресурсов.

Сравнение с международными стандартами показало, что предложенная методика в значительной степени соответствует современным требованиям в области управления промышленной и профессиональной безопасностью. Она может рассматриваться как практический инструмент адаптации действующих систем управления к актуальным нормативным требованиям и к увеличению прозрачности принимаемых решений. Разработанная методика в значительной степени согласуется с требованиями ГОСТ Р ИСО 45001–2020, а также с современными подходами к риск-ориентированному управлению безопасностью, реализованный подход обеспечивает выполнение большей части положений стандарта, чем использование традиционного подхода. Интеграция с элементами HAZOP-анализа позволила повысить качество идентификации опасностей, по сравнению с использованием стандартных процедур.

Вместе с тем, разработанная методика имеет определённые ограничения в применении. Она предназначена для объектов с непрерывным технологическим процессом и требует наличия базы данных по авариям за период не менее трех лет и определенной специфики технологических процессов, при которых обеспечивается корректность заложенных допущений. Эффективность подхода снижается при численности персонала менее 50 человек. Также методика не учитывает специфику морских объектов и объектов, расположенных в условиях вечной мерзлоты. Это требует осторожности при переносе разработанной модели на объекты с иными условиями эксплуатации.

По результатам исследования в Федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрирована программа для ЭВМ «Программа анализа состояния обеспечения производственной безопасности» [13], что расширяет возможности ее внедрения на различных производственных объектах, в том числе за счет автоматизации расчетов и формирования отчетной документации

Заключение. Проведенное исследование показало, что интеграция процедур оценки пожарного риска по методике МЧС России № 533 с процессами управления профессиональными рисками в системе управления охраной труда (приказ Минтруда России № 776н) является эффективным инструментом повышения безопасности труда на предприятиях нефтегазовой отрасли. Интегрированный подход позволяет рассматривать пожарную безопасность и охрану труда как элементы единого контура управления рисками.

Сформирована интегрированная матрица опасностей, учитывающая классификацию по Федеральному закону № 123-ФЗ и связывающая ее с профессиональными рисками нефтегазовых объектов. Применение матрицы увеличило количество выявленных опасностей с 35 до 47, в том числе комбинированных, требующих специальных комплексных мер, что подтверждает более полную идентификацию рисков.

Разработана математическая модель интегрированной оценки пожарных рисков с коэффициентом интеграции с СУОТ и модифицированной формулой частоты реализации пожароопасных сценариев с учётом эффективности мероприятий СУОТ. Валидация с использованием экспертных оценок и статистических методов (коэффициент конкордации Кендалла, ANOVA, корреляционный анализ) показала достаточную согласованность и обоснованность принятых коэффициентов.

Практическая апробация на объектах нефтегазовой отрасли продемонстрировала повышение точности оценки рисков с 0,75 до 0,92 и снижение уровней пожарного риска при поэтапном внедрении элементов СУОТ, особенно систем контроля технического состояния оборудования и обучения персонала.

Перспективы дальнейших исследований связаны с адаптацией методики к объектам с особыми режимами работы и повышенной опасностью, расширением перечня учитываемых сценариев, а также более детальной интеграцией аспектов человеческого фактора и цифровизации мониторинга: использование систем онлайн-контроля, интеллектуальной диагностики и аналитики больших данных.

В целом предложенный подход формирует основу для совершенствования практик управления пожарной и производственной безопасностью в нефтегазовой отрасли, обеспечивая более обоснованное принятие решений по снижению рисков.

Список литературы / References

1. Гвоздев ЕВ. Межсистемное взаимодействие и связи в системе комплексной безопасности, предназначенной для предупреждения аварий и пожаров на взрывопожароопасных предприятиях. *Безопасность труда в промышленности*. 2024;12:40–46. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-12-40-46>
- Gvozdev EV. Intersystem Interaction and Relationships in the Integrated Safety System Designed to Prevent Accidents and Fires at Explosion- and Fire-Hazardous Enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2024;12:40–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-12-40-46>
2. Гвоздев Е.В. Развитие методологии управления риском на взрывопожароопасных объектах предприятий. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;8:61–69. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-8-61-69>
- Gvozdev EV. Development of the Risk Management Methodology at the Fire Explosive Facilities of the Enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2023;8:61–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-8-61-69>
3. Bazaluk O, Tsopa V, Okrasa M, Pavlychenko A, Cheberiyachko S, Yavorska O, et al. Improvement of the Occupational Risk Management Process in the Work Safety System of the Enterprise. *Frontiers in Public Health*. 2023;11:1330430. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1330430>
4. Milea A, Moraru R-I, Cioca L-I. Occupational Risk Management through the Lens of the Sustainable Development Goals (SDGs): An Integrated Approach to Promoting Sustainability in the Workplace. *Sustainability*. 2025;17(5):1864. <https://doi.org/10.3390/su17051864>
5. Tazim Ahmed, Hoque ASM, Chitra Lekha Karmaker, Shamsuddin Ahmed. Integrated Approach for Occupational Health and Safety (OHS) Risk Assessment: An Empirical (Case) Study in Small Enterprises. *Safety Science*. 2023;164:106143. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106143>

6. Ramos D, Afonso P, Rodrigues MA. Integrated Management Systems as a Key Facilitator of Occupational Health and Safety Risk Management: A Case Study in a Medium Sized Waste Management Firm. *Journal of Cleaner Production*. 2020;262:121346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121346>

7. Солодовников А.В., Шабанова В.В., Абдрахманов Н.Х., Набиева Ю.Р. Разработка процедуры управления профессиональными рисками на предприятии нефтегазового комплекса. Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022;2(136):118–128. <http://doi.org/10.17122/ntj-oil-2022-2-118-128>

Solodovnikov AV, Shabanova VV, Abdrakhmanov NKh, Nabieva YuR. Development of Professional Risk Management Procedure at Petroleum Industry Enterprise. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2022;2(136):118–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2022-2-118-128>

8. Lahuta P, Kardos P, Hudáková M. Integrated Risk Management System in Transport. *Transportation Research Procedia*. 2021;55:1530–1537 <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.142>

9. Самчук-Хабарова Н.Я., Гапонов В.Л. Совершенствование методики управления профессиональными рисками. *Безопасность труда в промышленности*. 2024;3:26–32. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-3-26-32>

Samchuk-Khabarova NTa, Gaponov VL. Improving the Occupational Risk Management Methodology. *Occupational Safety in Industry*. 2024;3:26–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-3-26-32>

10. Laszcz-Davis C. Enterprise Risk Management. In book: *Handbook of Occupational Safety and Health*, 3rd Edition. Wiley; 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119581482.CH12>

11. Салихова А.Х., Шварев Е.А., Самойлов Д.Б., Лазарев А.А. Рекомендации по определению частоты реализации пожароопасных ситуаций на технологическом оборудовании с пожаровзрывоопасными технологическими средами. *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023;3(48):107–115.

Salikhova AH, Shvarev EA, Samoilo DB, Lazarev AA. Recommendations for Determining the Frequency of Fire Hazardous Situations on Technological Equipment with Fire and Explosion Hazardous Technological Environments. *The Journal Modern Problems of Civil Protection*. 2023;3(48):107–115. (In Russ.)

12. Фомичев Л.Ю. База данных нарушений требований пожарной и промышленной безопасности. Патент РФ, № 2025621409. 2025.

Fomichev LYu. *Database of Violations of Fire and Industrial Safety Requirements*. RF Patent No. 2025621409. 2025. (In Russ.)

13. Фомичев Л.Ю. Программа анализа состояния обеспечения производственной безопасности. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ, №2024691025. 2024.

Fomichev LYu. *Program for Analyzing the State of Industrial Safety*. RF Certificate of State Registration of a Computer Program No. 2024691025. 2024. (In Russ.)

Об авторах:

Леонид Юрьевич Фомичев, аспирант кафедры промышленной безопасности и охраны окружающей среды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина (119991, Российская Федерация, г. Москва, просп. Ленинский, 65, корп. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), fomichev.lu@yandex.ru

Ирина Анатольевна Минаева, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны окружающей среды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина (119991, Российская Федерация, г. Москва, просп. Ленинский, 65), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), [Scopus ID](#), i.a.minaeva@yandex.ru

Станислав Петрович Сухарский, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Российская Федерация, г. Москва, Ярославское шоссе, 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), stanislav-07@inbox.ru

Сергей Васильевич Батманов, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Российская Федерация, г. Москва, Ярославское шоссе, 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), svbatmanov@gmail.com

Ярослав Максимович Кузнецов, студент кафедры теплогоснабжения и вентиляции Института инженерно-экологического строительства и механизации Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Российская Федерация, г. Москва, Ярославское шоссе, 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), aroslavkuznecov35@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Л.Ю. Фомичев: разработка концепции, проведение исследования.

И.А. Минаева: предоставление ресурсов, разработка методологии, научное руководство.

С.П. Сухарский: формальный анализ, курирование данных, валидация результатов.

С.В. Батманов: разработка концепции, написание рукописи, внесение замечаний и исправлений.

Я.М. Кузнецов: написание черновика рукописи, визуализация.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Leonid Yu. Fomichev, Postgraduate Student of the Department of Industrial Safety and Environmental Protection, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Avenue, Building 1, Moscow, 119991, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), i.a.minaeva@yandex.ru

Irina A. Minaeva, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Environmental Protection, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Avenue, Building 1, Moscow, 119991, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), [Scopus ID](#), i.a.minaeva@yandex.ru

Stanislav P. Sukharsky, Postgraduate Student of the Department of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), stanislav-07@inbox.ru

Sergei V. Batmanov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), svbatmanov@gmail.com

Yaroslav M. Kuznetsov, Student of the Department of Heat, Gas, and Water Supply and Ventilation, Institute of Engineering and Environmental Construction and Mechanization, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26 Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russia), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ResearcherID](#), aroslavkuznecov35@gmail.com

Claimed Contributorship:

LYu Fomichev: conceptualization, investigation.

IA Minaeva: resources, methodology, supervision.

SP Sukharsky: formal analysis, data curation, validation.

SV Batmanov: conceptualization, writing – review & editing.

YaM Kuznetsov: writing – original draft, visualization.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.11.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 15.12.2025

Принята к публикации / Accepted 12.01.2026