



Управление профессиональным риском травмирования работников угольных шахт на основе принципа защиты временем

Е.И. Кабанов ✉, М.Л. Рудаков, Н.Е. Дука

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ kabanov_ei@pers.spmi.ru

Резюме: В статье приведены результаты анализа показателей травматизма на угольных шахтах России. При рассмотрении различных подходов к повышению безопасности труда горнорабочих, а также изучении нормативных и научных источников обоснована актуальность цели работы, заключающейся в разработке метода определения допустимого времени воздействия опасных производственных факторов на работников угольных шахт для дальнейшего управления профессиональным риском травмирования. В основной части статьи представлена математическая основа для расчета допустимого времени нахождения работника в пределах опасной зоны при воздействии одного или нескольких опасных производственных факторов. Раскрыт алгоритм реализации метода определения допустимого времени воздействия опасных производственных факторов на работников угольных шахт. Приведены результаты апробации метода, осуществленной на примере условий труда проходчика угольной шахты с учетом типовой структуры рабочей смены и средних по отрасли значений показателей индивидуального риска смертельного травмирования при авариях и несчастных случаях. Предложенный авторами метод предоставляет методическую основу для реализации принципа защиты временем в целях соблюдения уровней допустимого профессионального риска. В заключение даны пояснения по дальнейшему развитию результатов проведенного исследования.

Ключевые слова: угольная шахта, охрана труда, промышленная безопасность, опасный производственный фактор, травматизм, риск-ориентированный подход, оценка риска, защита временем

Для цитирования: Кабанов Е.И., Рудаков М.Л., Дука Н.Е. Управление профессиональным риском травмирования работников угольных шахт на основе принципа защиты временем. *Горная промышленность*. 2026;(4S):19–25. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-19-25>

Occupational injury risk management for coal mine workers using the time-limited exposure principle

E.I. Kabanov ✉, M.L. Rudakov, N.E. Duka

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation
✉ kabanov_ei@pers.spmi.ru

Abstract: The article presents the results of analyzing injury rates in coal mines of Russia. Examination of various approaches to improving occupational safety of miners and reviewing regulatory and scientific sources helped to justify the relevance of the research objective, i.e. developing a method for determining the permissible exposure time to hazardous production factors for coal miners to further manage occupational injury risks. In the main part of the article, the authors present a mathematical basis for calculating the permissible time a miner can stay within a hazardous zone under exposure to one or several hazardous production factors. An algorithm is described for implementing a method of determining the permissible exposure time to hazardous production factors for coal miners. The results of testing this method are provided using the case of working conditions of a coal mine roadheader operator with account of a typical structure of the work shift and the industry-average values of individual risk indicators for fatal injuries in accidents and incidents. In the conclusion, a statement is made that the proposed method provides a methodological framework for implementing the time-limited exposure principle in order to comply with the acceptable occupational risk levels, and further directions are outlined for further development of the research results.

Keywords: coal mine, occupational safety, industrial safety, hazardous production factor, injury rate, risk-based approach, risk assessment, time-limited exposure

For citation: Kabanov E.I., Rudakov M.L., Duka N.E. Occupational injury risk management for coal mine workers using the time-limited exposure principle. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):19–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-19-25>



Введение

Динамика производственного травматизма на предприятиях угольной промышленности характеризуется тенденцией к снижению (за период 2014–2023 гг. его показатель снизился на 35,6% [1; 2]). Вместе с тем удельный показатель смертельного травматизма по итогам 2024 г. зафиксирован на уровне 0,03 чел./млн т, что в 1,5 раза превышает целевое значение, установленное Программой развития угольной промышленности на период 2019–2025 гг. Наиболее опасными объектами в угольной промышленности остаются угольные шахты [3–5]: в 2023 г. при подземной добыче угля были травмированы 222 человека, в том числе 9 человек получили смертельные травмы [1]. Среднее за период 2020–2024 гг. значение индивидуального риска смертельного травмирования работников угольных шахт зафиксировано на уровне 5,36–10–4 год–1, что превышает допустимый риск в 1,8 раза [6].

Результаты анализа состояния аварийности и травматизма на предприятиях угольной промышленности [7–9] свидетельствуют о том, что современные угольные шахты характеризуются высоким уровнем обеспечения техническими средствами безопасности, тогда как основными причинами травматизма являются неудовлетворительная организация производства работ, нарушение технологического процесса, недостатки в организации рабочих мест, нарушение трудовой и производственной дисциплины. Из этого следует, что основным фактором, препятствующим дальнейшему снижению уровня опасности горного производства, является наличие проблем на различных уровнях управления производственными процессами [10; 11]. Сложившаяся ситуация отягощается ростом интенсивности производственных процессов [12; 13] и повсеместным усложнением условий ведения подземных горных работ [1; 14], что приводит к увеличению потенциального риска причинения вреда жизни и здоровью горнорабочих и обосновывает актуальность задач по дальнейшему совершенствованию систем управления охраной труда [15; 16].

Дальнейший выбор подходов к повышению безопасности труда с учетом порядка приоритета защитных мероприятий¹ свидетельствует о том, что в сложившейся ситуации, когда возможность применения технических мер исчерпана или их эффективность ограничена неудовлетворительным управлением, следующим в порядке приоритета направлением является реализация административных методов ограничения времени воздействия опасностей на работников (защита временем). Использование защиты временем позволяет реализовать принцип разделения риска²: сокращение продолжительности воздействия на работника вредного и/или опасного производственного фактора приводит к уменьшению уровня профессионального риска данного работника, тогда как отсутствие воздействия на источник опасности сохраняет величину коллективного риска на прежнем уровне. На законодательном уровне сокращение времени пребывания работника в

опасной зоне является мероприятием по охране труда³, а обязанность установления сокращенной продолжительности рабочего времени при работе во вредных и/или опасных условиях возлагается на работодателя⁴.

Влияние времени воздействия вредных и опасных факторов на уровни риска причинения вреда жизни и здоровью человека рассматривается в исследованиях по изучению влияния вредных веществ [17], теплового и ионизирующего излучения [18], а также ряда травмоопасных факторов, характерных для различных сфер деятельности [19–21]. С практической точки зрения реализация принципа защиты временем требует определения и обоснования величины предельно допустимого времени воздействия. Существуют примеры решения указанной задачи в области защиты работников от воздействия вредных производственных факторов (ВПФ): так, стандарты⁵ содержат математическую основу для определения предельно допустимого времени воздействия вредных веществ на работников, в ГОСТ 12.1.002–84⁶ описан метод расчета допустимого времени нахождения работника под воздействием электрических полей.

Существующая методология защиты временем обладает преимущественно детерминистским характером, который не оперирует понятием «риск» напрямую и использует фактор времени в основном для расчета усредненных по периодам доз воздействия. В то же время учет взаимосвязи между профессиональным риском травмирования работника и временем его нахождения в опасной зоне может быть осуществлен при использовании вероятностного (риск-ориентированного) подхода⁷ [22; 23], который позволяет рассматривать время как количественную характеристику воздействия опасности. Примеры реализации указанного подхода отражены в ряде работ, определяющих показатели риска с учетом доли времени присутствия человека в пределах опасных зон. Так, в исследовании [24] при расчете величин коллективного и социального риска учитывается время нахождения человека в области возможного воздействия аварии на опасном производственном объекте. В руководстве по безопасности⁸ фактор времени используется при расчете вероятности присутствия человека в области действия поражающего фактора аварии и величины индивидуального риска гибели, а также

1 Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: Приказ Минтруда России от 28 декабря 2021 г. №926н. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_406016 (дата обращения: 08.05.2026).

2 ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Принципы и руководство: Приказ Росстандарта от 10 декабря 2019 г. №1379-ст. Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=OTN&n=26868&gPrUeLVknKFVKCik> (дата обращения: 08.05.2026).

3 Об утверждении Примерного перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней: Приказ Минтруда России от 29 окт. 2021 г. №771н. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402380 (дата обращения: 08.05.2026).

4 Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. №197-ФЗ (ред. от 29 декабря 2025 г. с изм. от 15 мая 2026 г.). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683 (дата обращения: 08.05.2026).

5 Subpart Z – toxic and hazardous substances. 1910.1000 – Air contaminants. Department of Labor and Industry. Available at: <https://www.dli.mn.gov/business/workplace-safety-and-health/mnosh-compliance-resources-all-industries> (accessed: 08.06.2026); ГОСТ 12.1.005–88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: Постановление Госстандарта СССР от 29 сентября 1988 г. №3388. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136698/ (дата обращения: 08.05.2026).

6 ГОСТ 12.1.002–84. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты: Постановление Госстандарта СССР от 5 декабря 1984 г. №4103. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200271> (дата обращения: 08.05.2026).

7 Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. №533. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_485176/ (дата обращения: 08.05.2026).

8 Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: Приказ Ростехнадзора от 3 ноября 2022 г. №387. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652 (дата обращения: 08.05.2026).

при расчете доз воздействия поражающих факторов с использованием пробит-функций.

Вместе с тем проведенный анализ нормативных и научных источников показывает, что в настоящий момент принцип защиты временем в недостаточной степени адаптирован к решению задач снижения профессиональных рисков травмирования горнорабочих, а методы определения предельно допустимого времени воздействия опасных производственных факторов (ОПФ) на персонал отсутствуют или не сформированы в явном виде. Целью исследования является разработка метода определения допустимого времени воздействия ОПФ на работников угольных шахт для дальнейшего управления профессиональным риском травмирования при работе в опасных условиях.

Разработка метода

Допустимым временем воздействия опасности на работника может считаться такая продолжительность его нахождения в пределах опасной зоны, при которой величина профессионального риска не будет превышать допустимого значения. В контексте обоснования допустимого времени воздействия ОПФ целесообразно использовать общепринятый показатель индивидуального риска $R_{инд.i}$, определяемый на основе статистических данных о травматизме и отражающий частоту травмирования работника в результате воздействия i -го ОПФ [25]. В рамках вероятностного анализа индивидуальный риск $R_{инд.i}$, доля, может быть определен по выражению:

$$R_{инд.i} = P_{оп.i} \cdot P_{оз.i} \cdot P_{тр.i}, \quad (1)$$

где $P_{оп.i}$ – вероятность возникновения i -го ОПФ, доля; $P_{оз.i}$ – вероятность присутствия человека в опасной зоне воздействия i -го ОПФ, доля; $P_{тр.i}$ – вероятность получения работником травмы заданной степени тяжести при воздействии i -го ОПФ, доля.

Снижение величины профессионального риска $R_{инд.i}$ может быть выполнено путем реализации защитных мероприятий, направленных на уменьшение вероятностей исходных событий $P_{оп.i}$, $P_{оз.i}$, $P_{тр.i}$. При определении величины допустимого времени воздействия i -го ОПФ $\tau_{доп.i}$, ч, в дальнейшем рассматриваются условия, при которых управляющее воздействие на источник опасности отсутствует и принимается $P_{оп.i}$, $P_{тр.i} = \text{const}$. Тогда снижение величины $R_{инд.i}$ достигается при уменьшении вероятности присутствия человека в опасной зоне, определяемой в соответствии с выражением:

$$P_{оз.i} = \frac{\tau_{пр.i}}{\tau_{оп.i}}, \quad (2)$$

где $\tau_{пр.i}$ – суммарное время нахождения работника в опасной зоне воздействия i -го ОПФ, ч; $\tau_{оп.i}$ – продолжительность существования i -го ОПФ в течение рабочей смены, ч. Период для определения вероятностей $P_{оп.i}$, $P_{оз.i}$, $P_{тр.i}$ и размерность величин $\tau_{пр.i}$ и $\tau_{оп.i}$ следует выбирать исходя из частоты возникновения и продолжительности существования i -го ОПФ.

Выражения (1) и (2) показывают, что величина $R_{инд.i}$ снижается пропорционально сокращению продолжительности периода $\tau_{пр.i}$ и принимает допустимое значение $R_{доп.i}$, доля, при $\tau_{пр.i} = \tau_{доп.i}$:

$$\tau_{доп.i} = \frac{R_{доп.i} \cdot \tau_{оп.i}}{P_{оп.i} \cdot P_{тр.i}} = \frac{R_{доп.i} \cdot \tau_{оп.i}}{R_{инд.i}}, \quad (3)$$

где $\tau_{доп.i}$ – допустимое время воздействия i -го ОПФ, ч; $R_{доп.i}$ – допустимый индивидуальный риск травмирования работника в результате воздействия i -го ОПФ, доля.

Выражение (3) является математической основой для определения допустимого времени присутствия работника в опасной зоне при воздействии i -го ОПФ с использованием вероятностного подхода к реализации принципа защиты временем. Вместе с тем в условиях горного производства рабочие места характеризуются одновременным воздействием нескольких ОПФ. В результате преобразования формулы (3) получено выражение для определения допустимого времени присутствия работника в опасной зоне при одновременном и непрерывном воздействии совокупности из n ОПФ $\tau_{доп}$, ч:

$$\tau_{доп} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{доп.i}) \cdot \tau_{оп}}{\sum_{i=1}^n (R_{инд.i})}, \quad (4)$$

где $\tau_{оп}$ – продолжительность периода одновременного существования совокупности из n ОПФ, ч.

Если на различных этапах трудового процесса на работника оказывают воздействие различные совокупности ОПФ, то величину $\tau_{доп}$ следует определять отдельно для каждого этапа. Поскольку при одновременном воздействии на работника совокупности из n ОПФ величина $\tau_{доп}$ учитывает показатель индивидуального риска каждого i -го ОПФ, то на этапе идентификации необходимо производить определение полного перечня ОПФ для различных этапов трудового процесса.

Полученные результаты позволяют сформировать алгоритм реализации метода, представленный на рис. 1.

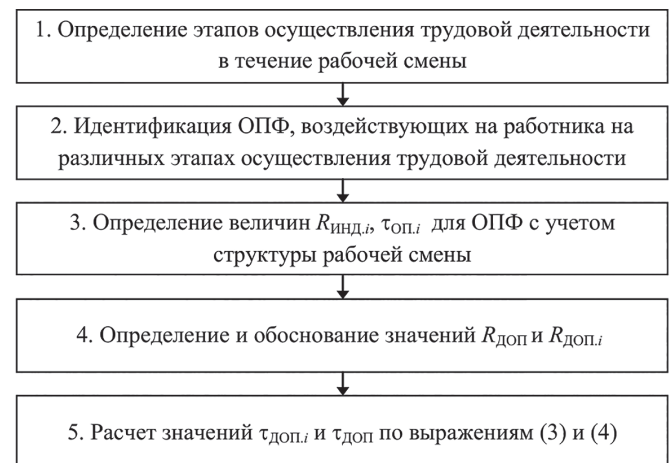


Рис. 1
Алгоритм реализации метода определения допустимого времени воздействия опасных производственных факторов на работников угольных шахт

Fig. 1
An algorithm for implementing the method for determining the permissible exposure time to hazardous production factors for coal mine workers

Апробация метода

Апробация метода определения допустимого времени воздействия ОПФ на работника выполнена на примере профессии проходчика угольной шахты, эксплуатируемой в условиях высокого метановыделения и наличия опасности возникновения гео- и газодинамических явлений.



Таблица 1

Распределение опасных производственных факторов, воздействующих на работника на различных этапах рабочей смены

Table 1

Distribution of hazardous production factors affecting a miner at various stages of the work shift

Этап рабочей смены	Место	$\tau_{оп}$, мин	Опасные производственные факторы	$R_{инд.i}$, год ⁻¹
I. Подготовительный / заключительный этапы	АБК	60	Прочие*	$1,29 \cdot 10^{-5}$
II. Спуск в шахту / подъем из шахты	Клетевой ствол	20	Падение	$2,66 \cdot 10^{-6}$
			Машины и механизмы	$1,14 \cdot 10^{-4}$
			Прочие	$1,29 \cdot 10^{-5}$
III. Передвижение от ствола к забою / от забоя к стволу	Подземные выработки	60	Транспорт	$4,92 \cdot 10^{-5}$
			Прочие	$1,29 \cdot 10^{-5}$
IV. Приемка / передача смены, перерывы	Проходческий забой	90	Прочие	$1,29 \cdot 10^{-5}$
V. Работа в забое	Проходческий забой	250	Взрыв газа и пыли	$2,29 \cdot 10^{-4}$
			Машины и механизмы	$1,14 \cdot 10^{-4}$
			Обрушение горной массы	$7,54 \cdot 10^{-5}$
			Внезапный выброс	$2,07 \cdot 10^{-5}$
			Горный удар и динамические явления	$1,83 \cdot 10^{-5}$
			Затопление	$1,06 \cdot 10^{-5}$
			Падение	$2,66 \cdot 10^{-6}$
			Прочие	$1,29 \cdot 10^{-5}$

Примечание. * Здесь и далее к категории «Прочие» относятся ОПФ, не отнесенные к другим категориям (пожары, электроток, вредные вещества и пр.).
Note. * here and thereafter, the "Other" category includes the hazardous production factors that are not classified under the other categories (fires, electric shock, harmful substances, etc.)

Таблица 2

Результаты расчета допустимого времени воздействия опасных производственных факторов на работника на различных этапах рабочей смены

Table 2

Calculation results of the permissible exposure time to hazardous production factors for a miner at various stages of the work shift

Этап рабочей смены	Опасные производственные факторы	$\tau_{оп}$, ч	$\tau_{доп}$ ($\tau_{доп.i}$), ч
I. Подготовительный / заключительный этапы	Прочие	1,00	2,59
II. Спуск в шахту / подъем из шахты	Падение	0,30	0,23
	Машины и механизмы		
	Прочие		
III. Передвижение от ствола к забою / от забоя к стволу	Транспорт	1,00	1,07
	Прочие		
IV. Приемка / передача смены, перерывы	Прочие	1,50	3,88
V. Работа в забое	Взрыв газа и пыли	4,20	2,32
	Машины и механизмы		
	Обрушение горной массы		
	Внезапный выброс		
	Горный удар и динамические явления		
	Затопление		
	Падение		
	Прочие		

В табл. 1 представлены результаты идентификации ОПФ, полученные на основе анализа типовой структуры рабочей смены проходчика на угольной шахте. Перечень ОПФ и соответствующие значения $R_{инд.i}$ определены на основе анализа показателей смертельного травматизма при подземной добыче угля за период 2015–2025 гг.

Значения допустимого профессионального риска смертельного травмирования приняты на уровне $R_{доп} = 3,01 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ и $R_{доп.i} = 3,34 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ [5].

Дальнейшее использование выражений (3) и (4) позволи-

ло определить значения допустимого времени воздействия ОПФ на работников $\tau_{доп.i}$ и $\tau_{доп}$, представленные в табл. 2.

Так, этапы I и IV характеризуются наличием единичного ОПФ, воздействие которого на работника не приводит к превышению допустимого уровня профессионального риска (поскольку $R_{инд.i} < R_{доп.i}$). В связи с этим расчетное значение допустимого времени воздействия $\tau_{доп.i}$ превышает фактическую продолжительность рассматриваемых этапов рабочей смены и сокращение времени воздействия ОПФ на работника не требуется.



На этапе III работник оказывается под воздействием совокупности из двух ОПФ, не превышающих допустимый уровень профессионального риска ($\Sigma R_{\text{инд.}i} < \Sigma R_{\text{доп.}i}$) и также не требующих сокращения времени воздействия ОПФ ($\tau_{\text{доп}} > \tau_{\text{оп}}$).

Этапы II и V характеризуются наличием совокупности из n ОПФ, совместное воздействие которых приводит к превышению уровня допустимого профессионального риска смертельного травмирования работника ($\Sigma R_{\text{ДОП.}i} > \Sigma R_{\text{ИНД.}i}$). В рассматриваемых условиях для соблюдения уровня допустимого риска (при отсутствии защитных мероприятий, воздействующих на источники опасности) требуется использование принципа защиты временем и сокращение продолжительности воздействия ОПФ на работника на 23% и 45% соответственно.

Заключение

Предложенный подход предоставляет полноценную методическую основу для реализации принципа защиты временем в целях соблюдения уровней допустимого профессионального риска травмирования работников. Так, на примере средних по отрасли показателей индивидуально-го риска смертельного травмирования показано, что в су-

ществующих условиях, когда отступление от регламентов безопасности приводит к превышению допустимого профессионального риска, безопасность труда горнорабочих может быть обеспечена путем сокращения времени воздействия на них опасных производственных факторов.

В свою очередь, сокращение продолжительности нахождения работников пределах опасных зон и/или ограничения общей продолжительности задействования работников на различных этапах производственных процессов неминуемо приведет к необходимости их реорганизации, привлечению дополнительных трудовых и материальных ресурсов. Возникновение сопутствующих издержек, с одной стороны, потребует от хозяйствующих субъектов соответствующего экономического обоснования и, с другой стороны, может рассматриваться в качестве инструмента экономического стимулирования работодателей к улучшению условий труда работников.

Дальнейшим развитием результатов исследования является адаптация разработанного подхода к динамической модели оценки риска, подразумевающей учет нестационарности показателей риска возникновения различных событий, приводящих к возникновению ущерба для жизни и здоровья работников.

Вклад авторов

Е.И. Кабанов – разработка методики исследования, написание рукописи статьи.

М.Л. Рудаков – интерпретация результатов исследования, редактирование рукописи статьи.

Н.Е. Дука – обработка результатов исследования, коррективировка рукописи статьи.

Author's Contribution

Evgeniy I. Kabanov – development of the research methodology, drafting of the article.

Marat L. Rudakov – interpretation of the research results, editing of the article.

Nikita E. Duka – processing of the research results, proofreading of the article.

Список литературы / References

1. Гаврилов Д.В., Лежнев Е.А., Соболев В.В. Анализ состояния аварийности и травматизма на предприятиях угольной промышленности за 2014–2023 годы. *Горная промышленность*. 2025;(1):41–48. <https://doi.org/10.30686/16099192-2025-1-41-48>
Gavrilov D.V., Lezhnev E.A., Sobolev V.V. Analysis of accident and injury rates at coal industry operations in 2014–2023. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):41–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-41-48>
2. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Куликова Е.Ю. Анализ аварийности и тенденции развития аэрологической безопасности угольных шахт. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(12):135–149. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2024/12/12_2024_135-149.pdf (дата обращения: 28.04.2026).
Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kulikova E. Yu. Analysis of accidents and development trends in aerological safety of coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(12):135–149. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2024/12/12_2024_135-149.pdf (accessed: 28.04.2026).
3. Кольвах К.А. Оценка и управление риском травматизма подземного персонала при обрушении горных пород на угольных шахтах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(2):124–132. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_3_0_124
Kolvakh K.A. Assessment and management of injury risk of personnel in case of rock failures in coal mines in Kuzbass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(2):124–132. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_3_0_124



4. Рудаков М.Л., Смирнякова В.В., Алмосова Я.В., Каргополова А.П. Факторный анализ производственного травматизма в целях совершенствования процедур обучения работников безопасности труда при ведении работ по добыче угля. *Безопасность труда в промышленности*. 2021;(5):82–87. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-5-82-87>
Rudakov M.L., Smirnyakova V.V., Almosova Ya.V., Kargopolova A.P. Factor analysis of industrial injuries with the purpose to improve the procedures for training the employees in occupational safety during coal mining. *Occupational Safety in Industry*. 2021;(5):82–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-5-82-87>
5. Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Geotechnical risk management in mine and underground construction. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025;17(1):556–563. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-1-556-563>
6. Кабанов Е.И. Определение допустимого профессионального риска травмирования работников угледобывающих предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5):167–180. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_5_0_167
Kabanov E.I. Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5):167–180. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_5_0_167
7. Глебова Е.В., Волохина А.Т., Вихров А.Е. Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК. *Записки Горного института*. 2023;259:68–78. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12>
Glebova E.V., Volokhina A.T., Vikhrov A.E. Assessment of the efficiency of occupational safety culture management in fuel and energy companies. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:68–78. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12>
8. Gendler S.G., Prokhorova E.A. Assessment of the cumulative impact of occupational injuries and diseases on the state of labor protection in the coal industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(10-2):105–116. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_10_2_105
9. Афанасьев П.И., Ахметов А.Р., Фадеев А.А., Шмонин И.В. Прогнозирование сейсмического воздействия от промышленных взрывов с учетом энергетических характеристик взрывчатых веществ в условиях Кедровского угольного разреза. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(2-1):5–18. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_5-18.pdf (дата обращения: 28.04.2026).
Afanasev P.I., Akhmetov A.R., Fadeev A.A., Shmonin I.V. A seismic impact forecasting methodology for production blasts at the Kedrovsky coal mine based on explosives energy properties. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(2-1):5–18. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_5-18.pdf (accessed: 28.04.2026).
10. Kazanin O., Sidorenko A., Drebenstedt C. Intensive underground mining technologies: Challenges and prospects for the coal mines in Russia. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020;26(1):60–69. <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i1.05>
11. Li X., Cao Z., Xu Y. Characteristics and trends of coal mine safety development. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2025;47(1):2316–2334. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1852339>
12. Куликова Е.Ю., Полянкин А.Г., Потокина А.М. Специфика управления геотехническими рисками при проектировании подземных сооружений. *Записки Горного института*. 2023;264:895–905. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15784> (дата обращения: 17.05.2026).
Kulikova E.Y., Polyankin A.G., Potokina A.M. Specifics of geotechnical risk control in the design of underground structures. *Journal of Mining Institute*. 2023;264:895–905. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15784> (accessed: 17.05.2026).
13. Корнев А.В., Спицын А.А., Коршунов Г.И. Повышение безопасности труда работников угольных шахт по пылевому фактору на основе использования гидрогеля. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(4):5–22. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_4_0_5
Kornev A.V., Spitsyn A.A., Korshunov G.I. Enhancement of occupational safety in coal mines with respect to dust factor using hydrogel. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(4):5–22. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_4_0_5
14. Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н., Алексеев В.Ю., Сидоренко С.А. Совершенствование технологических схем отработки склонных к самовозгоранию пластов угля, опасных по горным ударам. *Записки Горного института*. 2023;264:949–961. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15644> (дата обращения: 17.05.2026).
Sidorenko A.A., Dmitriev P.N., Alekseev V.Y., Sidorenko S.A. Improvement of technological schemes of mining of coal seams prone to spontaneous combustion and rock bumps. *Journal of Mining Institute*. 2023;264:949–961. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15644> (accessed: 17.05.2026).
15. Гендлер С.Г., Прохорова Е.А. Методические основы выбора приоритетных направлений управления охраной труда при подземной добыче угля на основе анализа динамики интегрального риска травматизма и профессиональной заболеваемости. *Горный журнал*. 2023;(9):41–48. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.09.06>
Gendler S.G., Prokhorova E.A. Methodical framework for selecting occupational safety management priorities in underground coal mining on the basis of integrated occupational illness and injury risk dynamics analysis. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(9):41–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.09.06>
16. Казанин О.И. Перспективные направления развития технологий подземной угледобычи в РФ. *Горный журнал*. 2023;(9):4–11. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.09.01>
Kazanin O.I. Promising technology trends in underground coal mining in Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(9):4–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.09.01>
17. Woodall G.M. Acute health reference values: Overview, perspective, and current forecast of needs. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2005;68(11-12):901–926. <https://doi.org/10.1080/15287390590912199>



18. Акатьев В.А., Зенцов И.И. Функция уязвимости человека с учетом продолжительности действия поражающего фактора. *Промышленные процессы и технологии*. 2022;2(1):15–28. <https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-1-15-28>
Akatev V.A., Zentsov I.I. The function of human vulnerability, taking into account the duration of the damaging factor. *Industrial Processes and Technologies*. 2022;2(1):15–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-1-15-28>
19. Meng Q., Weng J., Qu X. A probabilistic quantitative risk assessment model for the long-term work zone crashes. *Accident Analysis & Prevention*. 2010;42(6):1866–1877. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.007>
20. Santamariña-Rubio E., Pérez K., Olabarria M., Novoa A.M. Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure. *Accident Analysis & Prevention*. 2014;65:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.11.015>
21. Keall M.D. Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accident Analysis & Prevention*. 1995;27(5):729–740. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(95\)00019-v](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00019-v)
22. *Reducing risks, protecting people. HSE's decision-making process*. HSE Books; 2001. 88 p. Available at: <https://electrical-engineering-portal.com/wp-content/uploads/2025/04/Reducing-risks-protecting-people-HSE.pdf> (accessed: 17.05.2026).
23. Smith D.J. Reliability, Maintainability and Risk. *Practical Methods for Engineers*. 8th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2011. 463 p.
24. Софьин А.С., Сумской С.И. Расчет показателей риска поражения людей с учетом вариативности их присутствия в областях воздействия аварийных процессов на опасных производственных объектах. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(6):81–89. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-6-81-89>
Sofyin A.S., Sumskey S.I. Calculation of the indicators of the risk of people damage considering the variability of their presence in the areas of emergency processes impact at hazardous production facilities. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(6):81–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-6-81-89>
25. Hernández-Báez Á., Torres E.S., Amaya-Gómez R., Pradilla D. Oil onshore pipeline quantitative risk assessment under fire and explosion scenarios. *Processes*. 2023;11(2):557. <https://doi.org/10.3390/pr11020557>

Информация об авторах

Кабанов Евгений Игоревич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-7580-9099>; e-mail: kabanov_ei@pers.spmi.ru

Рудаков Марат Леонидович – доктор технических наук, профессор, первый проректор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-7428-5318>

Дука Никита Евгеньевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-3498-1719>

Information about the authors

Evgeniy I. Kabanov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Industrial Safety Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7580-9099>; e-mail: kabanov_ei@pers.spmi.ru

Marat L. Rudakov – Dr. Sci. (Eng.), Full Professor, First Vice-Rector, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7428-5318>

Nikita E. Duka – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor of the Industrial Safety Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-3498-1719>

Article info

Received: 11.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 05.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 05.08.2026