

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е.И. Кабанов

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: kabanov_ei@pers.spmi.ru

Аннотация: Рассмотрено решение проблемы определения допустимого профессионального риска при реализации риск-ориентированного подхода к обеспечению безопасности угледобывающих предприятий. Проведен анализ сложившейся практики использования различных показателей допустимого риска, предложен метод определения допустимого профессионального риска на основе разработанной расчетной модели. Научная новизна работы в получении экономико-математической модели, учитывающей зависимости величины допустимого профессионального риска от ключевых экономических показателей — размера получаемой прибыли и размера социально-экономического ущерба от несчастных случаев на производстве. В ходе применения метода с использованием статистических данных за 2020 г. была получена величина допустимого профессионального риска смертельного травмирования для персонала угледобывающих организаций. Практическая значимость работы заключается в создании алгоритма расчета обоснованных показателей допустимого профессионального риска, использование которых приведет к повышению качества процедуры оценки профессиональных рисков, объективности принимаемых на угледобывающих предприятиях управленческих решений. В ходе апробации осуществлено сравнение рассчитанных значений допустимого профессионального риска смертельного травмирования горнорабочих с фактическими значениями риска в период 2016–2021 гг., показано многократное превышение допустимых уровней профессионального риска в результате воздействия ряда источников опасностей, выполнено ранжирование источников опасностей по степени необходимости принятия дополнительных мер для повышения безопасности.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, менеджмент риска, профессиональный риск, допустимый риск, охрана труда, промышленная безопасность, угледобывающая отрасль, открытая добыча угля, подземная добыча угля.

Благодарность: Исследование выполнено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 г. № FSRW-2020-0014.

Для цитирования: Кабанов Е. И. Определение допустимого профессионального риска травмирования работников угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 167–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_167.

Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry

E.I. Kabanov

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: Kabanov_EI@pers.spmi.ru

Abstract: The article focuses on the assessment of allowable occupational risk using the risk-oriented approach to safety in coal mines. The author has analyzed the prevailing practice of application of the allowable risk factors and proposed the assessment method of allowable occupational risk using the developed computation model. The scientific novelty of the research consists in the origination of an economic mathematical model which includes the dependence of the allowable occupational risk on the key economic factors—the profit margin and the social and economic damage because of industrial accidents. With this method and using 2020 statistics, the author has evaluated the allowable occupation fatal injury risk for coal mines. The practical relevance of the research consists in the building of an algorithm for calculating valid indicators of the allowable occupational risk. The use of these indicators can improve the quality of occupational risk assessment and enhance the objectiveness of managerial decision-making in coal mining. The approach is tested as a comparative case-study of the calculated allowable occupational fatal injury risk and the actual data on injured mine personnel over the period of 2016–2021. It is shown that the allowable occupational risk level is exceeded by many times because of some sources of hazard. The sources of hazard are ranked with respect to the urgency level of additional arrangements aimed to improve safety.

Key words: risk-oriented approach, risk management, occupational risk, allowable risk, occupational safety, industrial safety, coal mining industry, open pit coal mining, underground coal mining.

Acknowledgements: The study was carried out and supported under the state contract in the sphere of science in 2021, Contract No. FSRW-2020-0014.

For citation: Kabanov E. I. Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5):167-180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_167.

Введение

В экономически развитых странах ежегодно от 10 до 20% производимого богатства реинвестируется в безопасность, и изыскание путей наиболее эффективного расходования этих средств является важной научно-практической задачей [1]. В частности высокой актуальностью обладают проблемы разработки экономических стимулов в области охраны труда, позволяющих с одной стороны принуждать работодателей повышать безопасность труда, а с другой стороны — учитывать интересы персонала, занятого на работах в опасных условиях. Наиболее остро данная проблема стоит в угледобывающей отрасли, функционирование которой ежегодно уносит жизни десятков и сотен горнорабочих [2–5].

Говоря про экономические аспекты мероприятий по охране труда, не стоит забывать, что основной целью любой хозяйственной деятельности является получение прибыли. Поэтому менеджмент организаций рассматривает инвестирование в охрану труда в первую очередь с позиции минимизации потенциальных убытков, которые могут возникнуть из-за производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. Здесь у работодателей возникает естественный вопрос: «До какого уровня оправдан рост расходов на безопасность?». Вместе с тем участие работников в трудовой деятельности сопряжено с влиянием на них комплекса профессиональных рисков, величина которых не должна превышать некоторого допустимого уровня [6, 7].

В соответствии с набирающим популярность риск-ориентированным подходом, в качестве критерия для определения оптимального соотношения между экономической прибылью и уровнем безопасности труда может быть использован показатель допустимого профессионального риска. Учет данного показателя при принятии управленческих решений позволит устанавливать и обосновывать требуемый объем инвестиций в охрану труда, размер штрафных санкций в случае допущения несчастных случаев на производстве и размер компенсационных выплат персоналу при работе в опасных условиях.

Различные оценки допустимого индивидуального риска

Попытки внедрения риск-ориентированного подхода в практическую деятельность организаций сделали актуальным определение численного показателя допустимого риска [8–10]. К на-

стоящему моменту юрисдикциями ряда стран и их местными органами управления приняты различные значения допустимого индивидуального риска гибели среди населения и работников (табл. 1). Приведенные значения демонстрируют отсутствие единого взгляда на допустимый уровень риска. Это объясняется тем, что вопрос определения допустимого риска отягощен субъективным отношением людей к риску, так как восприятие опасности сильно варьируется от человека к человеку [11, 12].

Несмотря на то, что допустимый риск должен определяться с учетом технологического, социального и экономического развития общества, как правило, его значение устанавливается в процессе согласования интересов ограниченного круга лиц [16, 17]. Для примера стоит упомянуть процесс популяризации наиболее известного показателя допустимого риска — величины « 10^{-6} год $^{-1}$ », упомянутой во множестве отраслевых нор-

Таблица 1

Оценки допустимого индивидуального риска, используемые в ряде стран [13–15]
Allowable individual risk assessments in use in some countries [13–15]

Страна	Допустимый риск, год ⁻¹	
	для населения	для работников
Великобритания	10^{-6}	10^{-4}
Гонконг	10^{-5}	—
Бразилия	$10^{-5}, 10^{-6}$ *	—
Сингапур	10^{-6}	—
Малайзия	10^{-6}	10^{-5}
Австралия	$10^{-5}, 5 \cdot 10^{-7}$ *	10^{-5}
Канада	$10^{-5}, 10^{-6}$ *	10^{-4}
США	$3 \cdot 10^{-4}, 10^{-6}, 10^{-7}$ *	10^{-4}
Венгрия	$10^{-5}, 10^{-6}$ *	—
Чехия	$10^{-5}, 10^{-6}$ *	—
Нидерланды	$10^{-6}, 10^{-8}$ *	10^{-3}
Бельгия	10^{-7}	—
Россия	$5 \cdot 10^{-5}, 10^{-6}$ *	$10^{-3}, 2 \cdot 10^{-4}$ *

* по данным различных источников.

мативных документов различных стран. Так, в работе [18] сказано, что в нормативной документации значение 10^{-6} год⁻¹ впервые было упомянуто в 1977 г. в проекте Рекомендаций FDA (Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США). Данное значение было определено на основе исследований Натана Мантела и Рея Брайана [19], которые получили его произвольным образом и использовали как «эквивалент уровня риска, практически равного нулю». С тех пор показатель 10^{-6} год⁻¹ был использован во многих нормативных и руководящих документах, сперва в сфере оценки опасности различных химических веществ, а затем и в других областях. При этом постепенно произошло изменение понимания самой сути данной величины: во многих источниках он стал пониматься как «максимальный» или «целевой» уровень риска, при этом изначально FDA трактовало его как «по существу нулевой» риск, т.е. риск, ниже которого негативное воздействие на человека определить либо невозможно, либо нецелесообразно ввиду его пренебрежимо малого значения.

Слепое использование подобных показателей риска в качестве целевых может привести к неэффективному расходованию средств на обеспечение безопасности и снижению эффективности защитных мероприятий. Поэтому в рамках реализации риск-ориентированного подхода необходимо тщательным образом формировать целевые значения риска, что в свою очередь требует привлечения соответствующего методического обеспечения.

Подходы к определению допустимого риска

На сегодняшний день существует ряд подходов к определению допустимого профессионального риска, основанных

как на экспертных оценках, так и на различных экономико-математических моделях.

Экспертные методы оценки (или методы субъективной оценки) основаны на определении экспертами границ категорий риска, используемых ими в ходе качественного или полуколичественного анализа риска. Данные методы просты в применении и могут быть использованы в ряде специфических задач, что наиболее подробно отражено в работах [15, 16, 20]. Однако их основным недостатком является высокая субъективность результатов, что сильно ограничивает их область применения и делает невозможным их использование в задачах объективной количественной оценки допустимого профессионального риска.

Решение задачи определения допустимого профессионального риска, отражающего оптимальный баланс между прибылью, безопасностью и потенциальным ущербом, может быть достигнуто при использовании методов экономико-математического моделирования, позволяющих получать объективные и воспроизводимые результаты на твердой доказательной основе. Подобные подходы нашли отражение в работах [13, 15, 21, 22].

Применительно к горнодобывающей отрасли следует выделить метод [21], который рассматривает допустимый риск как экономически целесообразный риск, позволяющий производить оценку эффективности финансовых вложений в охрану труда. Метод базируется на анализе взаимосвязей между объемами финансовых вложений в охрану труда и промышленную безопасность и наблюдаемыми профессиональными рисками среди горнорабочих ряда угледобывающих предприятий России. По итогам данного исследования авторами были предложены значения экономически це-

лесообразного профессионального риска для горнорабочих угольных шахт в диапазоне от $9,1 \cdot 10^{-3}$ до $1,3 \cdot 10^{-2}$ год⁻¹ (в зависимости от угледобывающего предприятия). Сильными сторонами указанного подхода является возможность количественного определения допустимого профессионального риска с учетом специфики функционирования конкретных угледобывающих организаций. Однако предложенная авторами расчетная модель не учитывает ряд важных факторов, например, эффективность использования финансовых вложений, социальный ущерб от производственного травматизма, что позволяет получать лишь приблизительные результаты. Помимо этого, использование в основе расчетов ретроспективных статистических показателей функционирования конкретных угледобывающих предприятий не позволяет рассматривать данный метод в качестве универсального, результаты которого могут быть воспроизведены в условиях других производственных объектов.

В этой связи стоит отметить исследование [16], раскрывающее методические основы для расчета допустимого риска с учетом оптимальной величины затрат на мероприятия по сохранению жизни работника C_{SLS} , руб./чел.:

$$C_{SLS} = \frac{X - B_e}{\Delta N}, \quad (1)$$

где X — стоимость реализации защитных мероприятий, руб.; B_e — экономический эффект от защитных мероприятий, выраженный в снижении экономических потерь от их реализации, руб.; ΔN — ожидаемое снижение числа пострадавших работников от введения защитных мероприятий, чел. [16].

$$B_e = \sum_{j=1}^{m_-} (f_-^{(j)} \cdot U_-^{(j)}) - \sum_{j=1}^{m_+} (f_+^{(j)} \cdot U_+^{(j)}), \quad (2)$$

$$\Delta N = \sum_{j=0}^{m_-} (f_-^{(j)} \cdot N_-^{(j)}) - \sum_{j=0}^{m_+} (f_+^{(j)} \cdot N_+^{(j)}), \quad (3)$$

где m_- и m_+ — количество сценариев, приводящих к смертельному травмированию работника до и после введения защитных мероприятий соответственно, шт.; f — вероятность реализации j -го сценария, доли ед.; U_- и U_+ — экономический ущерб от j -го сценария, приведшего к смертельному травмированию работника до и после введения защитных мероприятий соответственно, руб.; N_- и N_+ — число погибших работников до и после введения защитных мероприятий соответственно, чел. [16].

В процессе реализации мер по дальнейшему снижению профессионального риска хозяйствующему субъекту приходится прибегать ко все более дорогостоящим мероприятиям. Это означает, что показатель C_{SLS} неуклонно растет и в определенный момент становится непропорционально высоким по сравнению с величиной экономического ущерба от потери человеческой жизни L_c , руб./чел. В соответствии с принципом ALARP, в качестве управляющего параметра для определения критического значения непропорциональности между стоимостью защитных мероприятий C_{SLS} и экономическим ущербом от потери человеческой жизни L_c использован фактор диспропорциональности $k_{dp}(R)$ [12, 16]. Тогда условие допустимости профессионального риска R определяется следующим неравенством:

$$k_{dp}(R) = \frac{C_{SLS}}{L_c} > k_{lim}(R_i), \quad (4)$$

где $k_{lim}(R_i)$ — предопределенная функция, отражающая максимально допустимую пропорциональность затрат от введения защитных мероприятий по отношению к потенциальному ущербу, ед. (определяется в соответствии с [23]) [16].

Экономико-математическая модель, представленная в формулах (1)–(4), де-

монстрирует понятный теоретический подход к определению экономического баланса между затратами, ущербом и риском, соответствующий принципу ALARP. Однако здесь величина допустимого профессионального риска не указана в явной форме, что наряду с неоднозначностью подходов к определению и обоснованию исходных данных делает актуальным разработку предлагаемого метода, который является пригодным для практического применения и представлен далее.

Метод

В соответствии с основополагающим экономическим принципом концепции «приемлемого риска» экономическая прибыль для общества (P , руб./год), получаемая при ведении хозяйственной деятельности, должна многократно превышать экономический ущерб (D , руб./год), причиняемый общественному благосостоянию источниками опасностей, сопряженными с данной хозяйственной деятельностью

$$P \gg D. \quad (5)$$

Вместе с тем использование человеческих ресурсов считается приемлемым лишь тогда, когда получаемое общественное благо многократно превышает ущерб от потери человеческих ресурсов в процессе данной деятельности. В этом контексте экономический ущерб может быть определен на основе суммарной стоимости экономических потерь, сопутствующих производственному травматизму со смертельным исходом:

$$D = n \cdot (L_c + D_{soc} + D_{inv} + D_{add}), \quad (6)$$

где n — число случаев смертельного травмирования от воздействия всех источников опасностей при данном виде деятельности, чел./год; L_c — экономический ущерб для общества от потери среднестатистической человеческой жизни,

руб./чел.; D_{soc} — затраты на компенсационные выплаты родственникам погибшего работника, руб./чел.; D_{inv} — сумма затрат на расследование несчастного случая (приведенная на одного погибшего работника), руб./чел.; D_{add} — прочий ущерб, сопряженный с несчастным случаем на производстве (ущерб от технологического простоя производства, от повреждения или уничтожения имущества предприятия, экологический ущерб, затраты на штрафные санкции и прочее), приведенный на одного погибшего работника, руб./чел.

В соответствии с распространенной практикой в качестве показателя профессионального риска используется величина индивидуального риска гибели человека, определяемая по соотношению

$$R_{ind} = \frac{n}{N}, \quad (7)$$

где N — количество работников, участвующих в формировании экономической прибыли в ходе трудовой деятельности и находящихся под воздействием сопряженных с ней источников опасностей, чел.; R_{ind} — индивидуальный профессиональный риск смертельного травмирования работников в ходе трудовой деятельности в результате воздействия всех сопряженных с ней источников опасности, год⁻¹.

С учетом формул (6) и (7) выражение (5) примет вид:

$$P \gg R_{ind} \cdot N \cdot (L_c + D_{soc} + D_{inv} + D_{add}). \quad (8)$$

Для определения строгого равенства в выражение (8) необходимо ввести показатель пропорции между получаемой экономической прибылью и сопутствующим ущербом от производственного травматизма, который ранее в выражении (4) был обозначен через фактор диспропорциональности $k_{dp}(R)$. Тогда показатель индивидуального риска может быть определен как показатель до-

пустимого индивидуального риска R_{acc} , год⁻¹, и выражен из формулы (8)

$$R_{acc} = \frac{P}{k_{dp}(R) \cdot N \cdot (L_c + D_{soc} + D_{inv} + D_{add})} \cdot \quad (9)$$

Для практического использования полученной модели необходимо обосновать алгоритмы определения показателей экономического ущерба. Так, величина затрат на компенсационные выплаты родственникам погибшего работника D_{soc} может быть определена в соответствии с нормативными регламентами. В то же время величины затрат на расследование несчастного случая D_{inv} и ущерба, сопряженного с несчастным случаем на производстве D_{add} , также поддаются оценке на основе анализа сложившейся практики. Однако методы оценки экономического ущерба от потери человеческой жизни L_c вызывают наибольшую дискуссию ввиду существования принципиально различных подходов к ее определению. Так, в соответствии с различными источниками (на момент проведения данного исследования) оценки

величины экономического эквивалента жизни человека сильно расходятся между собой и варьируются от 0,01 до 15,0 млн долл. Эти различия обоснованы тем, что существующие методы оценки во многом субъективны и зачастую сильно упрощены. В связи с этим возникает необходимость определения и обоснования величины L_c с учетом ее области применения в каждом отдельном случае.

Результаты

Предложенный метод позволяет определить допустимый профессиональный риск смертельного травмирования на различных уровнях масштабирования (государственном, отраслевом, на уровне отдельных предприятий). В контексте данного исследования наибольший интерес представляет расчет значения допустимого профессионального риска для угледобывающей отрасли в целом. В связи с этим в ходе дальнейшей апробации предложенного метода произведен расчет допустимого профессионального риска смертельного травмирова-

Таблица 2

Исходные данные для расчета показателя R_{acc} для угледобывающих предприятий России в 2020 г. (получены автором)
Input data to calculate R_{acc} for coal mines in Russia in 2020 (obtained by the author)

Параметр	Примечание
$P = 105,2$ млрд руб./год	Размер прибыли от добычи угля на основе данных Росстата [24]
$N = 87\ 136$ чел.	Среднесписочная численность рабочих по добыче угля в IV квартале 2020 г. [25]
$L_c = 5\ 400\ 000$ долл./чел.	Принято на основе оценок отечественного и зарубежного рынков труда в соответствии с [26]
$D_{soc} = 1\ 000\ 000$ руб./чел.	Величина затрат на компенсационные выплаты родственникам погибшего работника определена в соответствии с 125-ФЗ от 24.07.98 г.
$D_{inv} = 75\ 000$ руб./чел.	Значение определено в соответствии с примером, приведенным в [27]
$D_{add} = 40\ 150$ руб./чел.	
$k_{dp}(R) = 10$	Значение определено для границы максимально допустимого риска в соответствии с рекомендациями HSE [23]

ния, актуальный для угледобывающих предприятий на примере статистических данных 2020 г. (табл. 2). Обработка представленных в табл. 2 исходных данных с применением формулы (9) позволила получить величину допустимого профессионального риска смертельного травмирования для работников угледобывающих предприятий $R_{acc} = 3,01 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

Стоит отметить, что полученное значение R_{acc} отражает допустимый профессиональный риск смертельного травмирования работника от воздействия всех возможных на рабочем месте опасностей. В целях более детального анализа условий труда целесообразно производить расчет показателя допустимого профессионального риска смертельного травмирования от отдельного источника опасности $R_{acc,i}$

$$R_{acc,i} = \frac{R_{acc}}{n_F}, \quad (10)$$

где $R_{acc,i}$ — допустимый индивидуальный профессиональный риск смертельного травмирования работника от воздействия i -го источника опасности (опасного производственного фактора), год^{-1} ; n_F — количество источников опасности (опасных производственных факторов), воздействие которых потенциально может привести к гибели работника на рабочем месте, шт.

Так, несчастные случаи со смертельным исходом, произошедшие на угледобывающих предприятиях России в период с 2010 по 2021 гг., явились результатом воздействия 15 опасных производственных факторов [28]. Исходя из этого, величина допустимого профессионального риска смертельного травмирования горнорабочего от воздейст-

Таблица 3

Значения фактического индивидуального риска смертельного травмирования на угледобывающих предприятиях России в период 2010—2021 гг. (получены автором)
Actual data on individual fatal injury risk in coal mines in Russia in 2010–2021
(obtained by the author)

Год	Число смертельно травмированных работников, чел./год	Среднесписочная численность персонала по добыче угля, чел.	Индивидуальный риск смертельного травмирования, год^{-1}
2010	135	96 390	$1,40 \cdot 10^{-3}$
2011	46	99 380	$4,63 \cdot 10^{-4}$
2012	36	99 688	$3,61 \cdot 10^{-4}$
2013	63	97 719	$6,45 \cdot 10^{-4}$
2014	26	78 747	$3,30 \cdot 10^{-4}$
2015	20	85 367	$2,34 \cdot 10^{-4}$
2016	56	82 739	$6,76 \cdot 10^{-4}$
2017	18	86 743	$2,07 \cdot 10^{-4}$
2018	17	90 101	$1,89 \cdot 10^{-4}$
2019	15	90 290	$1,66 \cdot 10^{-4}$
2020	15	87 136	$1,72 \cdot 10^{-4}$
2021	54	83 633*	$6,46 \cdot 10^{-4}$

* данные за первое полугодие 2021 г.

вия i -го источника опасности в соответствии с выражением (10) равняется $R_{acc,i} = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

Обсуждение результатов

Полученное значение допустимого профессионального риска $R_{acc} = 3,01 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ не противоречит ряду оценок, представленных в табл. 1. Вместе с тем оно представляется обоснованным и объективным, базирующимся на понятной и прозрачной экономико-математической расчетной модели, которая учитывает ряд важных социально-экономических показателей.

Сравнение полученного показателя с фактической частотой смертельного травмирования позволяет делать обоснованные выводы о состоянии труда на угледобывающих предприятиях или отдельных рабочих местах. По данным

табл. 3 можно отметить общую тенденцию к снижению частоты смертельного травматизма среди персонала угледобывающих организаций России. Так, по сравнению с периодом 2010–2014 гг., когда наблюдалась непрерывная работа персонала в условиях недопустимого профессионального риска, в промежутке 2016–2020 гг. имело место снижение наблюдаемого индивидуального риска смертельного травмирования до условно приемлемых значений. Это свидетельствует о достижении некоторого положительного результата в области охраны труда и обеспечения промышленной безопасности на предприятиях отрасли. Однако крупные промышленные аварии, произошедшие в 2016 г. (шахта «Северная») и 2021 г. (шахта «Листвяжная»), нарушают эту в целом позитивную тенденцию. Это говорит о том, что оказы-

Таблица 4

Фактический индивидуальный риск смертельного травмирования от различных факторов на угольных шахтах России (данные получены автором)
Actual data on individual fatal injury risk due to various factors in coal mines in Russia (obtained by the author)

Причина смертельного травмирования	Фактический индивидуальный риск смертельного травмирования, год ⁻¹					
	2016	2017	2018	2019	2020	средний за 5 лет
Взрыв (горение, вспышки газа и пыли)	$9,60 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	$1,92 \cdot 10^{-4}$
Воздействие машин и механизмов	$1,87 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$
Обрушение горной массы, крепи	$1,87 \cdot 10^{-4}$	$5,30 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$2,61 \cdot 10^{-5}$	$9,99 \cdot 10^{-5}$
Транспорт	$8,00 \cdot 10^{-5}$	$7,98 \cdot 10^{-5}$	$7,73 \cdot 10^{-5}$	$2,61 \cdot 10^{-5}$	$2,61 \cdot 10^{-5}$	$5,78 \cdot 10^{-5}$
Внезапный выброс	–	$2,66 \cdot 10^{-5}$	–	–	$5,23 \cdot 10^{-5}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$
Горный удар	–	–	–	–	$5,23 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Горно-динамические явления	–	–	–	–	$5,23 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Затопление выработок	–	$2,66 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	$5,32 \cdot 10^{-6}$
Электроток	–	–	–	–	$2,61 \cdot 10^{-5}$	$5,22 \cdot 10^{-6}$
Буровзрывные работы	–	–	$2,58 \cdot 10^{-5}$	–	–	$5,15 \cdot 10^{-6}$

ваемых усилий по улучшению условий труда горнорабочих все еще недостаточно, поскольку риски возникновения случайных событий, приводящих к несчастным случаям и авариям, все же находятся на высоком уровне.

Использование значения допустимого профессионального риска смертельного травмирования от воздействия отдельных источников опасности $R_{acc,i} = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ позволяет повысить уровень детализации при анализе условий труда горнорабочих: производить оценку воздействия отдельных опасных факторов на персонал, оценку эффективности защитных мероприятий по конкретным направлениям. В качестве примера рассмотрим показатели риска смертельного травматизма на угольных шахтах России в период 2016–2020 гг. (табл. 4).

Приведенные значения свидетельствуют о том, что с точки зрения экономически обоснованного показателя допустимого риска ни один смертельный несчастный случай, даже с одним пострадавшим, не является приемлемым ни при каких обстоятельствах. Вместе с тем определение усредненного за 5 лет наблюдаемого индивидуального риска позволяет выявить направления по повышению безопасности, которые в первую очередь нуждаются в развитии и модернизации [29–31]. Так, первостепенным значением обладает принятие дополнительных мер защиты горнорабочих от взрывов газа и пыли, травмирующего воздействия машин и механизмов, обрушений горной массы и крепи, травмирующего воздействия шахтного транспорта. В то же время достаточной эффективностью обладают мероприятия в области защиты персонала от различных геодинамических явлений, затоплений горных выработок, травмирующих воздействий электроточка и буровзрывных работ.

Заключение

Сформированный в ходе исследования метод позволяет выполнять определение и обоснование допустимого профессионального риска смертельного травмирования горнорабочих, который является ключевым и целевым показателем при реализации риск-ориентированного подхода к обеспечению безопасности труда в угледобывающей отрасли.

В ходе апробации предложенного алгоритма показано, что по данным 2020 г. величина допустимого профессионального риска смертельного травмирования может быть определена на уровне $R_{acc} = 3,01 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

Разработанная методическая основа предоставляет широкие возможности для анализа условий труда на угледобывающих предприятиях, а также принятия управленческих решений в области охраны труда и промышленной безопасности. Так, в ходе сопоставления фактических уровней профессиональных рисков среди персонала угольных шахт с величиной допустимого профессионального риска смертельного травмирования от воздействия отдельных источников опасностей $R_{acc,i} = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ было осуществлено ранжирование опасных производственных факторов по степени их негативного воздействия на горнорабочих.

В результате было показано, что в период 2016–2020 гг. профессиональные риски смертельного травмирования горнорабочих от ряда источников опасности значительно превышали допустимый уровень: взрывы метана и пыли (9,6 раз), использование машин и механизмов (7,1 раз), обрушения выработок (5,0 раз), использование транспорта (2,9 раз).

Разработанный подход может быть адаптирован для предприятий различной отраслевой специфики, что предо-

ставит дополнительные возможности как для оценки эффективности принимаемых мер в области охраны труда и промышленной безопасности, так и разра-

ботки новых экономических мероприятий по охране труда, стимулирующих работодателей повышать уровень безопасности труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lind N.* Social and economic criteria of acceptable risk // *Reliability Engineering & System Safety*. 2002, vol. 78, no. 1, pp. 21–25. DOI: 10.1016/s0951-8320(02)00051-0.
2. *Баловцев С. В.* К методике прогноза взрывобезопасности выемочных участков угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 11. – С. 218–226. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226.
3. *Родионов В. А., Цыганков В. Д., Жихарев С. Я., Кормщиков Д. С.* Методика исследования аэродинамических свойств каменноугольной пыли в протяженных горизонтальных выработках // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021. – № 10. – С. 69–79. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_69.
4. *Argimbaev K. R.* Technogenic deposit reclamation as an environmental protection factor // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019, vol. 14, no. 17, pp. 6342–6345. DOI: 10.36478/jeasci.2019.6342.6345.
5. *Takhanov D., Muratuly B., Rashid Z., Kydrashov A.* Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies // *Mining of Mineral Deposits*. 2021, vol. 15, no. 1, pp. 50–58. DOI: 10.33271/mining15.01.050.
6. *Kretschmann J., Plien M., Nguyen N., Rudakov M.* Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining // *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 242, pp. 248–256. DOI: 10.31897/pmi.2020.2.248.
7. *Михайлова В. Н., Баловцев С. В., Христофоров Н. Р.* Оценка риска возникновения профессиональных заболеваний органов слуха у горнорабочих при нарушении статьи 27 Федерального закона 52 // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 5. – С. 228–234. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-228-234.
8. *Marhavidas P. K., Koulouriotis D. E.* Risk-acceptance criteria in occupational health and safety risk-assessment – the state-of-the-art through a systematic literature review // *Safety*. 2021, vol. 7, no. 4. DOI: 10.3390/safety7040077.
9. *Wang Y., Zhang L.* Feature-based evidential reasoning for probabilistic risk analysis and prediction // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2021, vol. 102, article 104237. DOI: 10.1016/j.engappai.2021.104237.
10. *Чемезов Е. Н.* Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // *Записки Горного института*. – 2019. – Т. 240. – С. 649–653. DOI: 10.31897/pmi.2019.6.649.
11. *Bouafia A., Bougofa M., Rouainia M., Medjram M. S.* Safety risk analysis and accidents modeling of a major gasoline release in petrochemical plant // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2020, vol. 20, no. 2, pp. 358–369. DOI: 10.1007/s11668-020-00826-9.
12. *Aloqaily A.* Cross-country pipeline risk assessments and mitigation strategies. Cambridge: Elsevier, 2018, 185 p. DOI: 10.1016/C2017-0-02309-1.
13. *Guidelines for developing quantitative safety risk criteria.* Center for Chemical Process Safety. New Jersey, 2009, 211 p. DOI: 10.1002/9780470552940.
14. *Smith D. J.* Reliability, Maintainability and Risk. Oxford: Elsevier, 2011, 436 p.
15. *Vrijling J. K., Van Geldera P. H. A. J. M., Ouwerkerk S. J.* Criteria for acceptable risk in the Netherlands / *Infrastructure risk management processes: natural, accidental, and deliberate hazards*. Reston, VA: ASCE Council on Disaster Risk Management, 2005, pp. 145–157. DOI: 10.1061/9780784408155.ch05.

16. Reznikov D. O., Makhutov N. A., Yudina O. N. Management of risks induced by hazardous industrial facilities // *Procedia Structural Integrity*. 2020, vol. 28, pp. 1360–1368. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.10.107.

17. Gridina E. B., Kovshov S. V., Borovikov D. O. Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022, no. 1, pp. 107 – 115. DOI: 10.33271/nvngu/2022-1/107.

18. Kelly K. E. The myth of 10^{-6} as a definition of acceptable risk (Or «In Hot Pursuit of Superfund's Holy Grail»). Vancouver: Environmental Toxicology International Inc., 1991, 10 p.

19. Mantel N., Bryan W. R. «Safety» Testing of Carcinogenic Agents // *Journal of National Cancer Institute*. 1961, no. 27, pp. 455–470. DOI: 10.1093/jnci/27.2.455.

20. Korshunov G. I., Kabanov E. I., Cehlár M. Occupational risk management in a mining enterprise with the aid of an improved matrix method for risk assessment // *Acta Montanistica Slovaca*. 2020, vol. 25, no. 3, pp. 289–301. DOI: 10.46544/AMS.v25i3.3.

21. Гендлер С. Г., Кочеткова Е. А., Самаров Л. Ю. Оценка эффективности финансовых вложений в охрану труда на угольных шахтах // *Горный журнал*. — 2014. — № 4. — С. 50–53.

22. Легасов В. А., Демин В. Ф., Шевелев Я. В. Экономика безопасности ядерной энергетики. — М.: Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, 1984. — 52 с.

23. *SPC/Permissioning/37: Guidance on ALARP Decisions in COMAH*. URL: https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/ (дата обращения 02.03.2022).

24. О финансовых результатах деятельности организаций в 2020 году. URL: https://gks.ru/bgd/free/B04_03/lssWWW.exe/Stg/d02/41.htm (дата обращения 02.03.2022).

25. Тарзанов И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2020 года // *Уголь*. — 2021. — № 3. — С. 24–42. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27-43.

26. Быков А. А. О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека (пояснительная записка) // *Проблемы анализа риска*. — 2007. — Т. 4. — № 2. — С. 178–191.

27. Горшкова В. Е., Анищенко Ю. В., Егорова М. А. Оценка затрат предприятия при возникновении несчастного случая с работником [Электронный ресурс] // *Core – Aggregating the world's open access research papers* [сайт]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53095368.pdf> (дата обращения 02.03.2022).

28. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. — М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2021. — 369 с.

29. Неволлина Е. М., Шишкина С. В. Развитие компетентности персонала горнодобывающего предприятия как метод обеспечения безопасных условий труда // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 5-1. — С. 336–349. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_336.

30. Овчинникова Т. И., Потоцкий Е. П., Фирсова В. М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2-1. — С. 199–208. DOI: 10.25018/0236-1493-202121-0-199-208.

31. Зиновьева О. М., Меркулова А. М., Смирнова Н. А., Щербакоева Е. А. К вопросу управления психосоциальными рисками в горном деле // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 1. — С. 20–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_20. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Lind N. Social and economic criteria of acceptable risk. *Reliability Engineering & System Safety*. 2002, vol. 78, no. 1, pp. 21–25. DOI: 10.1016/s0951-8320(02)00051-0.

2. Balovtsev S. V. Explosion safety procedure for working areas in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 11, pp. 218–226. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226.

3. Rodionov V. A., Tsygankov V. D., Zhikharev S. Ya., Kormshchikov D. S. Research procedure for coal dust aerodynamics in long roadways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10, pp. 69–79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_69.

4. Argimbaev K. R. Technogenic deposit reclamation as an environmental protection factor. *Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2019, vol. 14, no. 17, pp. 6342–6345. DOI: 10.36478/jeasci.2019.6342.6345.

5. Takhanov D., Muratuly B., Rashid Z., Kydrashov A. Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies. *Mining of Mineral Deposits.* 2021, vol. 15, no. 1, pp. 50–58. DOI: 10.33271/mining15.01.050.

6. Kretschmann J., Plien M., Nguyen N., Rudakov M. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *Journal of Mining Institute.* 2020, vol. 242, pp. 248–256. DOI: 10.31897/pmi.2020.2.248.

7. Mikhaylova V. N., Balovtsev S. V., Khristoforov N. R. Assessment of occupational hearing disorder on the violation of Article 27 of Federal Law 52 in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 5, pp. 228–234. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-228-234.

8. Marhavidas P. K., Koulouriotis D. E. Risk-acceptance criteria in occupational health and safety risk-assessment – the state-of-the-art through a systematic literature review. *Safety.* 2021, vol. 7, no. 4. DOI: 10.3390/safety7040077.

9. Wang Y., Zhang L. Feature-based evidential reasoning for probabilistic risk analysis and prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence.* 2021, vol. 102, article 104237. DOI: 10.1016/j.engappai.2021.104237.

10. Chemezov E. N. Industrial safety principles in coal mining. *Journal of Mining Institute.* 2019, vol. 240, pp. 649–653. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2019.6.649.

11. Bouafia A., Bougofa M., Rouainia M., Medjram M. S. Safety risk analysis and accidents modeling of a major gasoline release in petrochemical plant. *Journal of Failure Analysis and Prevention.* 2020, vol. 20, no. 2, pp. 358–369. DOI: 10.1007/s11668-020-00826-9.

12. Aloqaily A. *Cross-country pipeline risk assessments and mitigation strategies.* Cambridge: Elsevier, 2018, 185 p. DOI: 10.1016/C2017-0-02309-1.

13. *Guidelines for developing quantitative safety risk criteria.* Center for Chemical Process Safety. New Jersey, 2009, 211 p. DOI: 10.1002/9780470552940.

14. Smith D. J. *Reliability, maintainability and risk.* Oxford: Elsevier, 2011, 436 p.

15. Vrijling J. K., Van Geldera P. H. A. J. M., Ouwkerk S. J. Criteria for acceptable risk in the Netherlands. *Infrastructure risk management processes: natural, accidental, and deliberate hazards.* Reston, VA: ASCE Council on Disaster Risk Management, 2005, pp. 145–157. DOI: 10.1061/9780784408155.ch05.

16. Reznikov D. O., Makhutov N. A., Yudina O. N. Management of risks induced by hazardous industrial facilities. *Procedia Structural Integrity.* 2020, vol. 28, pp. 1360–1368. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.10.107.

17. Gridina E. B., Kovshov S. V., Borovikov D. O. Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2022, no. 1, pp. 107–115. DOI: 10.33271/nvngu/2022-1/107.

18. Kelly K. E. *The myth of 10–6 as a definition of acceptable risk (Or «In Hot Pursuit of Superfund's Holy Grail»).* Vancouver: Environmental Toxicology International Inc., 1991, 10 p.

19. Mantel N., Bryan W. R. «Safety» Testing of Carcinogenic Agents. *Journal of National Cancer Institute.* 1961, no. 27, pp. 455–470. DOI: 10.1093/jnci/27.2.455.

20. Korshunov G. I., Kabanov E. I., Cehlár M. Occupational risk management in a mining enterprise with the aid of an improved matrix method for risk assessment. *Acta Montanistica Slovaca.* 2020, vol. 25, no. 3, pp. 289–301. DOI: 10.46544/AMS.v25i3.3.

21. Gendler S. G., Kochetkova E. A., Samarov L. J. Evaluation of financial investment in the labor protection of coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no. 4, pp. 50–53. [In Russ].
22. Legasov V. A., Demin V. F., Shevelev Ya. V. *Ekonomika bezopasnosti yadernoy energetiki* [Nuclear power's safety economics], Moscow, 1984, 52 p.
23. *SPC/Permissioning/37: Guidance on ALARP Decisions in COMAH*, available at: https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/ (accessed 02.03.2022).
24. *O finansovykh rezul'tatakh deyatelnosti organizatsiy v 2020 godu*, available at: https://gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d02/41.htm (accessed 02.03.2022). [In Russ].
25. Tarzanov I. G., Gubanov D. A. Russia's coal industry performance for January–December 2020. *Ugol'*. 2021, no. 3, pp. 24–42. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27-43.
26. Bykov A. A. On methodology for economic assessment of the value of statistical life (explanatory note). *Issues of risk analysis*. 2007, vol. 4, no. 2, pp. 178–191. [In Russ].
27. Gorshkova V. E., Anishchenko Yu. V., Egorova M. A. *Assessment of the company's costs in the event of an accident with an employee*. Core – Aggregating the world's open access research papers, available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/53095368.pdf> (accessed 02.03.2022). [In Russ].
28. *Godovoy otchet o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Federal service on environmental, technological and atomic supervision. Annual report on the activities in 2020], Moscow, ZAO «NTTS PB», 2021, 369 p.
29. Nevolina E. M., Shishkina S. V. Development of mine personnel competences as a method to ensure occupational safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 336–349. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_336.
30. Ovchinnikova T. I., Pototskiy E. P., Firsova V. M. Risk-based approach to hazard assessment in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 199–208. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-202121-0-199-208.
31. Zinovieva O. M., Merkulova A. M., Smirnova N. A., Shcherbakova E. A. Psychosocial risk management in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 1, pp. 20–33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_20.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кабанов Евгений Игоревич – канд. техн. наук,
Санкт-Петербургский горный университет,
e-mail: Kabanov_EI@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7580-9099.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

E.I. Kabanov, Cand. Sci. (Eng.),
Saint Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: Kabanov_EI@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7580-9099.

Получена редакцией 10.03.2022; получена после рецензии 17.03.2022; принята к печати 10.04.2022.
Received by the editors 10.03.2022; received after the review 17.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

