

## Управление профессиональными рисками на горнодобывающем предприятии с помощью усовершенствованного матричного метода оценки рисков

Г.И. КОРШУНОВ<sup>1</sup>, Е.И. КАБАНОВ<sup>1</sup> ✉ и М. ЧЕХЛАР<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Технический университет в Кошице, Кошице, Словакия

✉ kabanov\_ei@pers.spmi.ru

**Ссылка для цитирования оригинальной статьи:** Korshunov, G.I., Kabanov, E.I. and Cehlár, M. (2020). Occupational Risk Management In a Mining Enterprise With the Aid of an Improved Matrix Method for Risk Assessment. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 25 (3), 289-301. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i3.3>

**Аннотация:** Статья посвящена решению актуальной проблемы создания системы управления профессиональными рисками на горнодобывающих предприятиях, способной функционировать в условиях ограничения экономических и информационных ресурсов организации. Цель исследования – разработка подхода к управлению профессиональными рисками на горнодобывающем предприятии на основе принципиально нового матричного метода оценки профессиональных рисков, который позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений. В основе предлагаемого метода лежит комплекс методических подходов, направленных на минимизацию недостатков, присущих стандартным матрицам оценки рисков, которые были выявлены и изучены авторами в процессе системного анализа. В частности, регрессионный анализ оценок экспертов лег в основу расчетных моделей оценки профессионального риска, позволяющих повысить уровень детализации результатов оценки. При этом тот факт, что в предлагаемом методе используются интуитивно понятные непрерывные переменные вероятность/повреждение, с одной стороны, снижает неопределенность в экспертных оценках, а с другой – сохраняет наглядность и удобство использования классического матричного метода оценки профессионального риска. Для оптимизации использования ресурсов оценочных групп авторами разработан алгоритм процедуры управления профессиональными рисками, основанный на комплексном качественном исследовании сценариев негативного воздействия опасностей на работников горнодобывающего предприятия. В работе даны рекомендации по систематизации и инвентаризации результатов анализа профессиональных рисков для определения и планирования защитных мероприятий. Описаны результаты апробации предложенной методики, полученные в ходе анализа условий труда шахтеров на действующих угольных шахтах, которые свидетельствуют о повышении уровня детализации выходных данных и возможности применения унифицированного подхода к анализу разнородных профессиональных рисков. Кроме того, в работе показан положительный эффект, достигаемый при использовании предложенного метода по сравнению со стандартной матричной оценкой профессиональных рисков.

**Ключевые слова:** охрана труда, горнодобывающее предприятие, оценка профессиональных рисков, управление рисками, матрица оценки рисков, экспертная оценка, травматизм, профессиональная заболеваемость.

## Occupational Risk Management In a Mining Enterprise With the Aid of an Improved Matrix Method for Risk Assessment

Gennadiy I. KORSHUNOV<sup>1</sup>, Eugeniy I. KABANOV<sup>1</sup> ✉ and Michal CEHLÁR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Technical University of Košice, Slovak Republic

✉ kabanov\_ei@pers.spmi.ru

**Abstract:** The article is devoted to solving the topical problem of creating a system for occupational risk management in mining enterprises that would be able to function under the conditions of a limitation in the organization's economic and information resources. The study aims to develop an approach of occupational risk management at a mining enterprise based on an improved and fundamentally new matrix method of assessing occupational risks, which allows increasing the efficiency of managerial decision-making. The suggested method is based on a set of methodological approaches aimed at minimizing the drawbacks inherent to standard risk assessment matrices that were identified and studied by the authors in the process of system analysis. In particular, the regression analysis of the experts' evaluations has provided the basis for calculation models of occupational risk

\* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2025.

assessment, which allow increasing the level of detail in evaluation results. Alongside that, the fact that the suggested method uses intuitively comprehensible continuous variables of probability/damage, on the one hand, reduces the uncertainty in expert assessment, and on the other hand, preserves the visibility and convenience of using the classical matrix method for occupational risk assessment. To optimize the use of the assessment groups' resources, the authors have developed an algorithm for an occupational risk management procedure based on a comprehensive qualitative study of scenarios of the negative impact of hazards on mining enterprise workers. The paper provides recommendations for systematization and inventory of occupational risk analysis results to determine and plan protective measures. We have described the results of the testing of the proposed method – received in the course of analysis of the miners' working conditions in the operating coal mines – which indicate an increase in the level of detail of the output data and the possibility of applying a unified approach to the analysis of heterogeneous occupational risks. In addition to that, the paper shows the positive effect achieved by the use of the suggested method compared to the standard matrix assessment of occupational risks.

**Keywords:** Labour safety, mining enterprise, occupational risk assessment, risk management, risk assessment matrix, expert assessment, injuries, occupational morbidity.

## Введение

В условиях активного внедрения принципов риск-ориентированного подхода при обеспечении безопасности труда многие горнодобывающие предприятия сталкиваются с необходимостью создания систем управления профессиональными рисками в общей структуре управления организацией (Носков и др., 2020; Рудаков и др., 2020; Скопинцева и Баловцев, 2020; Пелипенко и др., 2019; Казанин и др., 2018; Семенов и Крук, 2017). В этих условиях одной из наиболее значимых проблем является выбор адекватного метода оценки профессионального риска, который является базовым элементом процедуры управления профессиональными рисками. Как показывает практика, на начальных этапах разработки таких систем многие пользователи отдают предпочтение простым качественным и полуколичественным методам оценки профессиональных рисков (Гендлер и др., 2020; Кулецкий и др., 2020), среди которых наиболее популярным является матричный метод оценки.

При правильном использовании матрицы оценки риска являются полезным и эффективным инструментом анализа: они не требуют привлечения значительных ресурсов, могут применяться в условиях высокой неопределенности исходных данных экспертами, не обладающими специальными знаниями в области качественной оценки риска (статистический анализ, вероятностное моделирование). Для того чтобы в полной мере использовать потенциал матриц рисков, пользователи должны иметь четкое представление о недостатках этого метода, что позволит избежать серьезных ошибок при его использовании.

Стоит отметить, что с точки зрения управления профессиональными рисками матрицы рисков не дают объема данных, достаточного для обоснования защитных мер: они не отвечают на вопрос «Что нужно сделать, чтобы снизить опасность?», поскольку такая информация просто не включена в структуру матриц рисков. По этой причине у пользователей матриц рисков может возникнуть разрыв в понимании понятий «оценка риска» и «управление риском». В ряде случаев это приводит к трудностям в организации системы управления профессиональными рисками на горнодобывающих предприятиях, что осложняется несоответствием четких методических рекомендаций по построению таких систем.

## Обзор литературы

### *Матрицы оценки рисков: преимущества и недостатки*

Матрицы риска используются для оценки, представления и классификации относительной величины риска наступления неблагоприятного события на основе пары показателей вероятность/ущерб (IEC 31010:2019). Матрицы оценки риска имеют наглядную графическую форму, представляющую собой двумерный классификатор категорий риска. Размер и структура матриц произвольны и должны определяться пользователями в соответствии с целями и условиями анализа в каждом конкретном случае (ISO 31000:2018; Смит и др., 2009; Фрэнкс и Мэддисон, 2006).

На рис. 1 приведен пример матрицы рисков, в которой категории вероятности/повреждения представлены качественными 5-уровневыми шкалами, образующими классификатор категорий риска размером 5x5 ячеек. Ячейки с наименьшим уровнем риска расположены в левом верхнем углу матрицы, ячейки с наибольшим уровнем риска – в правом нижнем углу.

Категории тяжести повреждений	Категории вероятности				
	A	B	C	D	E
1	Зеленый	Зеленый	Зеленый	Зеленый	Зеленый
2	Зеленый	Зеленый	Зеленый	Желтый	Желтый
3	Зеленый	Зеленый	Желтый	Желтый	Красный
4	Зеленый	Желтый	Желтый	Красный	Красный
5	Желтый	Желтый	Красный	Красный	Красный

Рис. 1. Матрица оценки профессионального риска для ПАО «Газпром»  
(где А-Е – категории вероятности события (в порядке возрастания вероятности),  
1-5 – категории тяжести события (в порядке возрастания ущерба);  
цветовая схема категорий риска следующая: зеленый – низкий риск, желтый – средний риск, красный – высокий риск).  
Источник: Газпром 18000.1-002-2014

Основными элементами матриц риска являются шкалы вероятности/ущерба, описывающие диапазон значений показателя вероятности/ущерба от минимального потенциально значимого уровня до максимально возможного. В зависимости от вида шкал вероятности/ущерба можно выделить два типа матриц оценки риска (Эльмонстри, 2014):

- качественная матрица риска, основанная на качественных шкалах вероятности/ущерба, значения которых выражаются в виде вербальных категорий (например, описание вероятности события с использованием таких терминов, как «Редко», «Часто», «Очень часто» и т. д.);
- полуколичественная матрица рисков, основанная на числовых шкалах вероятности/ущерба, значения которых выражаются в количественных или условных числовых единицах (например, описание вероятности события с использованием диапазона 0÷100 %, 1÷5 баллов).

Матрицы второго типа демонстрируют более высокий уровень детализации результатов. Поэтому их использование предпочтительнее (Кабанов и др., 2019, Ни и др., 2010). Количество категорий риска в таких матрицах равно количеству ячеек, а численный индекс риска определяется в соответствии со следующим выражением:

$$R = P \cdot Q, \quad (1)$$

где  $P$  – индекс вероятности негативного события, ea;  $Q$  – индекс ущерба от негативного события, ea.

Определенно, преимущества матриц рисков заключаются в следующем (IEC 31010:2019):

- простота использования по сравнению с другими методами оценки риска, что позволяет быстро классифицировать риск по уровню значимости;
- наглядное графическое представление значимости риска и уровней вероятности/ущерба;
- возможность сравнения рисков с различными типами последствий.

Матрицы рисков позволяют создать четко определенную базу для систематического анализа портфеля профессиональных рисков. Они могут использоваться для принятия управленческих решений на различных уровнях организации, от стратегических корпоративных решений до управления безопасностью на конкретных рабочих местах (Альп, 2006).

При рассмотрении практики применения матриц для оценки профессиональных рисков на горнодобывающих предприятиях становится очевидным, что этот простой инструмент имеет ряд заметных недостатков. Представленный ниже обзор слабых сторон матриц оценки рисков сформирован на основе многолетнего опыта авторов в области оценки профессиональных рисков на горнодобывающих предприятиях, а также результатов международных исследований в этой области. Следует отметить, что указанные недостатки могут проявляться частично, в зависимости от типа и структуры матрицы, но в подавляющем большинстве случаев они представлены в полном объеме.

1. Высокая субъективность оценок, обусловленная влиянием индивидуальных убеждений экспертов, разрабатывающих матрицу и проводящих анализ профессионального риска (Гендлер и др., 2020; Диллон и др., 2018; Дуйм, 2015; Элмонстри, 2014; Смит и др., 2009; Кокс, 2008). Этот недостаток приводит к высокой погрешности результатов и их неудовлетворительной воспроизводимости: с одной стороны, разные эксперты могут давать разные оценки в силу разного опыта (уровня знаний, комплекса предубеждений, склонности к ошибкам); с другой стороны, индивидуальный разброс субъективных оценок может привести к тому, что один и тот же эксперт будет давать разные оценки в разные моменты времени.

2. На экспертные оценки влияют когнитивные предубеждения восприятия, из-за которых способность большинства людей оценивать риски ухудшается (Хаббард и Эванс, 2010). Так, при субъективной оценке вероятности эксперты часто склонны переоценивать маловероятные и недооценивать высоковероятные риски (Смит и др., 2009; Тверски и Канеман, 1992). Кроме того, риски с высоким ущербом и низкой вероятностью привлекают больше внимания, чем риски с высокой вероятностью и низким ущербом (даже в тех случаях, когда негативное воздействие имеет кумулятивный эффект и приводит к серьезным отложенным последствиям). Этот недостаток особенно важен при оценке профессиональных рисков, связанных с воздействием на работников вредных производственных факторов, что приводит к отсроченному возникновению тяжелых профессиональных заболеваний.

3. Дискретность шкал матрицы рисков, приводящая к низкой детализации результатов и повышению вероятности попадания профессиональных рисков с разной значимостью в одну категорию риска (Дуим, 2015; Левин, 2012; Уолл, 2011; Кокс, 2008). Например, как показано в работе (Минеур, 2017), в качественных матрицах 3x3 с категориями риска «Низкий», «Средний» и «Высокий» риски с вероятностью 67 % и 99 % попадают в одну категорию – «Высокий риск». Однако очевидно, что риск с вероятностью 99 % имеет приоритет в управлении по сравнению с риском с вероятностью 67 %. Методология матричной оценки позволяет увеличить количество категорий риска для повышения детализации выходных данных, но это приводит к увеличению размера матрицы (гораздо больше 5x5 ячеек), что вызывает дополнительные трудности у экспертов при ее использовании.

4. Упрощенное линейное масштабирование шкал вероятности/ущерба предполагает, что диапазон измерения индекса рассчитывается в пределах одного и того же порядка величины. Однако широкий динамический диапазон изменений индексов вероятности/повреждения указывает на то, что каждая категория должна отличаться от предыдущей на порядок величины (Минеур, 2017; Дьюим, 2015; Левин, 2012; Альп, 2006). Следует также отметить, что согласно эмпирическому психофизиологическому закону Вебера-Фехнера, человеческое восприятие близко к логарифмическому закону распределения.

5. Одинаковый удельный вес индексов вероятности/повреждения. Этот недостаток можно проиллюстрировать на простом примере: неблагоприятное событие с вероятностью 10 % и потенциальным ущербом в 10 000 долларов имеет одинаковый риск (следовательно, одинаковый приоритет управления) по сравнению с событием с вероятностью 0,01 % и потенциальным ущербом в 10 000 000 долларов.

6. Сложность сопоставления профессиональных рисков с различными последствиями, которые связаны как с травмами работников, так и с развитием у них профессиональных заболеваний. Одна идентифицированная опасность может привести к нескольким альтернативным последствиям, каждое из которых должно быть признано, проанализировано и управляемо. Например, наличие на рабочем месте высокотоксичных веществ, ядерного, инфракрасного и других видов излучения может привести либо к резкому ухудшению состояния здоровья, либо к возникновению отсроченных последствий в виде профессиональных заболеваний.

В работах Дуйма, 2015; Элмонстри, 2014; Хаббарда и Эванса, 2010; Левина, 2012; Смита и др., 2009; и Кокса, 2008 представлены ценные рекомендации по преодолению некоторых из вышеперечисленных недостатков. Однако они носят разобщенный характер, часто предполагают использование более сложных моделей расчета и обработки результатов экспертной оценки, а также дополнительное обучение экспертов (что может быть нецелесообразно, если они нанимаются единоразово). Системный и глубокий анализ указанных слабых мест матриц рисков послужил основой для создания усовершенствованного метода матричной оценки, который представлен ниже. Кроме того, авторы сформулировали четкие методические рекомендации по управлению профессиональными рисками на основе качественного анализа и полуколичественной оценки таких рисков с использованием усовершенствованного матричного метода.

## **Методология исследования**

### *Усовершенствованный метод матричной оценки профессиональных рисков*

Основные недостатки матриц риска связаны с субъективным характером оценок и сложностью однозначного выбора категории вероятности/ущерба. Одним из возможных решений этой проблемы является использование непрерывных шкал вероятности/ущерба, в которых интервалы

числового показателя вероятности/ущерба будут привязаны к качественным вербальным категориям. Такой подход позволит:

а) свести к минимуму неопределенность в выборе оценки, присущую качественным и полуколичественным шкалам;

б) обеспечит необходимую свободу в выборе экспертами оценок вероятности/ущерба;

с) сделает возможным использование шкал с нелинейным характером распределения переменных, чтобы минимизировать когнитивные предубеждения при вынесении экспертной оценки.

С помощью предложенного метода найден индекс вероятности, основанный на показателе ожидаемой частоты наступления неблагоприятного события, измеренной в интервале от  $1 \text{ сут}^{-1}$  до  $22\,000 \text{ сут}^{-1}$  (что соответствует периодичности неблагоприятного события от 1 раза в сутки до 1 раза в 60 лет). В ходе регрессионного анализа экспертных оценок ожидаемой частоты неблагоприятных событий, унифицированных по результатам многолетних исследований авторов в области оценки профессионального риска, получена регрессионная модель для определения индекса вероятности  $P$ , балла ( $0 \leq P \leq 100$ ), основанная на логарифме ожидаемой частоты неблагоприятного события  $\lambda$ , день<sup>-1</sup> (коэффициент корреляции регрессионной модели  $R_c = 0,87$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,76$ ):

$$P = 100 - 10 \cdot \ln(\lambda). \quad (2)$$

На рис. 2 представлена зависимость  $P=f(\lambda)$ , где интервалы определяются по шкале числового показателя вероятности  $P$ , соответствующего качественным словесным категориям вероятности наступления неблагоприятного события ( $VH$  – очень высокая вероятность;  $H$  – высокая вероятность;  $M$  – средняя вероятность;  $L$  – низкая вероятность;  $VL$  – очень низкая вероятность). В таблице 1 представлены интервалы для индексов  $P$  и  $\lambda$ , соответствующих указанным вербальным категориям.

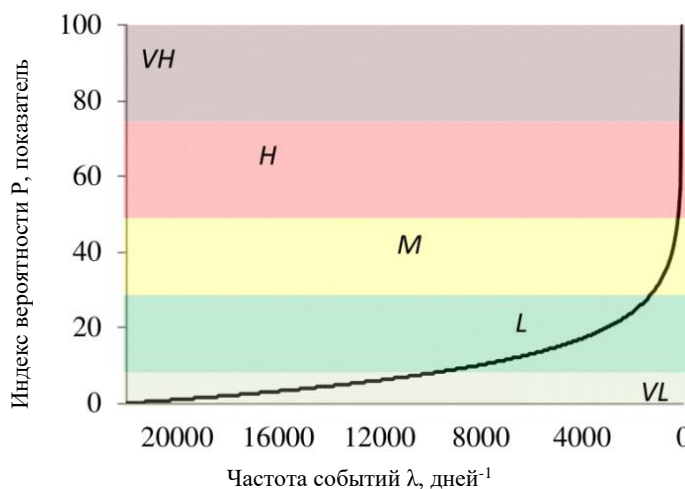


Рис.2. Оценка вероятности события на основе ожидаемой частоты его возникновения  
Источник: Расчеты авторов

Таблица. 1

#### Вербальные оценки вероятности наступления неблагоприятного события $P$

Вербальные категории вероятности	Частота события, дней <sup>-1</sup>	Вероятность $P$ , показатель
Очень низкая вероятность события ( $VL$ )	$\lambda > 10,000$	$P < 8$
Низкая вероятность события ( $L$ )	$1,000 \leq \lambda < 10,000$	$8 \leq P < 31$
Средний уровень вероятности события ( $M$ )	$100 \leq \lambda < 1,000$	$31 \leq P < 54$
Высокая вероятность события ( $H$ )	$10 \leq \lambda < 100$	$54 \leq P < 77$
Очень высокая вероятность события ( $VH$ )	$\lambda < 10$	$P \geq 77$

Источник: расчеты авторов

Индекс ущерба  $Q$ , балл ( $0 < Q < 100$ ), определяется с учетом переменных, позволяющих использовать единый подход к оценке профессиональных рисков получения работником травм и развития профессиональных заболеваний: показателей степени нарушения функций организма работника в результате воздействия опасного фактора,  $D$ , % ( $0 \leq D \leq 100$ ) (табл. 2), и продолжительности рассматриваемого периода нарушения,  $T$ , день ( $1 \leq T \leq 22\,000$ ). Связь  $Q=f(T,D)$  была формализована с помощью метода многомерного регрессионного анализа на основе экспертных оценок, в результате чего была получена следующая модель (коэффициент множественной корреляции модели  $R_{mc} = 0,81$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,66$ ):

$$Q = 0,65 \cdot (5,5 \ln(T) + D). \quad (3)$$

Таблица 2

### Экспертная оценка степени нарушения функций организма

Критерии оценки	Значение $D$ , %
Легкое нарушение функционального состояния организма, трудоспособность сохранена	$D < 20$
Значительное нарушение функционального состояния организма, трудоспособность утрачена	$20 \leq D < 40$
Заметное нарушение функционального состояния организма, способность к самообслуживанию утрачена	$40 \leq D < 60$
Очень выраженное нарушение функционального состояния организма, тяжелое состояние требует активной терапии	$60 \leq D < 80$
Критическое нарушение функционального состояния организма, высокая вероятность летального исхода	$D \geq 80$

Источник: расчеты авторов

На рис. 3 представлена матрица, полученная на основе выражения 3 и позволяющая быстро определить индекс  $Q$  графическим методом с учетом значений индексов  $T$  и  $D$ . В табл. 3 приведены расчетные значения индекса ущерба  $Q$ , соответствующие основным видам неблагоприятных последствий (в горной промышленности) при воздействии на организм работника опасных факторов.

Степень нарушения функций организма $D$	Продолжительность периода нарушения функций организма $T$ , дней							
	1	10	100	500	1000	5000	10000	22000
< 20 %	13	21	29	35	38	43	46	49
40 %	26	34	42	48	51	56	59	62
60 %	39	47	55	61	64	69	72	75
> 80 %	52	60	68	74	77	82	85	88

Рис. 3. Матрица оценки индекса повреждений. Источник: расчеты авторов

Показатель профессионального риска  $R$ , балльная оценка ( $0 \leq R \leq 10000$ ), определяется в соответствии с выражением 1. Числовая форма показателя профессионального риска позволяет проводить агрегирование результатов для широкого спектра разнородных профессиональных рисков, например, с использованием методов, опирающихся на нечеткие множества, числовые интервалы и функцию плотности вероятности, которые подробно описаны в (Бао и др., 2019; Марковски и Маннан, 2008). Такое агрегирование дает пользователям возможность получить интегральные показатели профессионального риска, характеризующие условия труда как для отдельных рабочих мест, так и для организации в целом.

Для целей дальнейшей оценки (категоризации) профессиональных рисков, определения и обоснования мероприятий по управлению выявленными профессиональными рисками в диапазоне показателя  $R$  были выделены интервалы, соответствующие трем категориям риска (табл. 4). При этом количество категорий риска определено в соответствии с тремя градациями управляющих воздействий. Согласно традиционному подходу, каждая категория представлена цветом: зеленый – низкий уровень риска, желтый – средний уровень риска, красный – высокий уровень риска.

Таблица 3

Вербальные оценки ущерба  $Q$ 

Вербальные категории повреждений	Примеры неблагоприятных последствий	Диапазон значений индекса $Q$ , балл
Очень низкий ущерб	Микротравмы (синяк, ссадина и т.д.), легкая аллергическая реакция	$Q < 15$
Низкий ущерб	Легкие травмы (вывих конечности, ожог 1-й степени, рваная рана и т. д.)	$15 \leq Q < 30$
Средний уровень ущерба	Умеренно тяжелые травмы (закрытый перелом конечности, ожог 2-й степени, сотрясение мозга и т. д.), профессиональные заболевания легкой и средней степени тяжести	$30 \leq Q < 50$
Высокий ущерб	Тяжелые травмы (открытый перелом конечности, переломы ребер, термический ожог III-IV степени, травматический пневмоторакс и т. д.), тяжелые профессиональные заболевания	$50 \leq Q < 75$
Очень высокий ущерб	Очень тяжелые травмы (черепно-мозговая травма, травма позвоночника, разрыв внутренних органов, ранения обоих глаз, ранения магистральных сосудов и т.д.), острые отравления и профессиональные заболевания с высокой вероятностью смертности	$Q \geq 75$

Источник: расчеты авторов

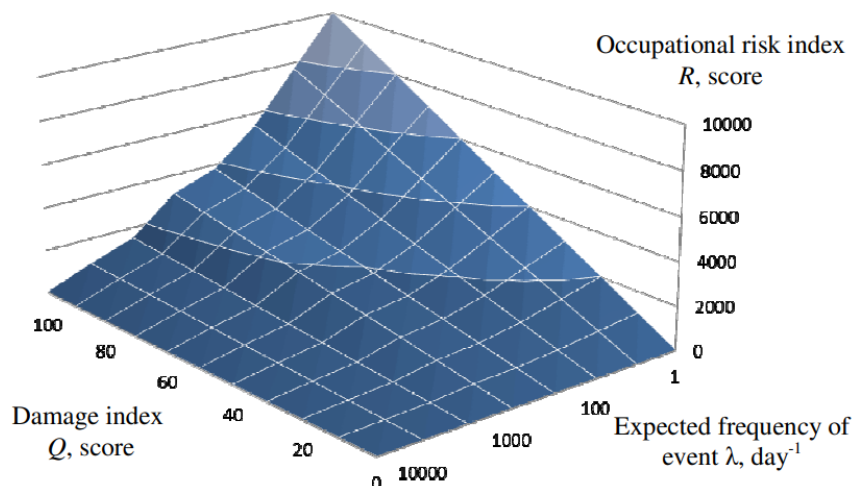
Таблица 4

Категоризация уровней профессионального риска  $R$ 

Категория профессионального риска	Диапазон значений для индекса $R$ , показатель	Необходимость внедрения контроллинговых воздействий в процесс управления рисками управления.
Низкий уровень риска (неприемлемый риск)	$R < 600$	Реализация дополнительных защитных мер не требуется
Средний уровень риска (неприемлемый риск)	$600 \leq R < 2,350$	Реализация защитных мер / требуется активный контроль за выполнением ранее реализованных защитных мер; мониторинг опасности обязателен
Высокий уровень риска (неприемлемый риск)	$R \geq 2,350$	Рабочий процесс должен быть приостановлен до реализации дополнительных защитных мер; мониторинг опасности обязателен.

Источник: расчеты авторов

На рис. 4 представлена поверхность, наглядно демонстрирующая нелинейный характер зависимости  $R=f(\lambda, Q)$ .

Рис. 4. Поверхностный график функции  $R=f(\lambda, Q)$ 

Источник: расчеты авторов

На рис. 5 представлено графическое изображение двумерной матрицы рисков, которая отражает зависимость  $R=f(P, Q)$  и позволяет оценить профессиональный риск графическим методом с помощью непрерывных шкал вероятности/ущерба.

Damage index <i>Q</i> , score	Probability index <i>P</i> , score										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
10	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
20	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
30	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
40	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
50	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
60	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
70	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
80	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
90	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
100	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Рис. 5. Графическая форма полученной матрицы оценки профессионального риска  
Источник: расчеты авторов

### *Методология оценки профессионального риска*

Оценка профессионального риска является лишь необходимым этапом на пути к выработке управленческих решений, направленных на минимизацию опасностей, защиту жизни и здоровья работников (Кулецкий и др., 2020; Филимонов, Горина, 2019). При этом следует понимать, что риск – это не просто вероятность наступления неблагоприятного события и нанесения им ущерба, а совокупность факторов, представляющих собой причины и условия реализации неблагоприятного события. Поэтому для определения комплекса мер по управлению профессиональным риском необходимо привлекать к анализу несколько более полные данные, чем те, которые может предоставить матрица оценки профессионального риска.

На рис. 6 представлен алгоритм сбора и регистрации информации (сформированный в соответствии со стандартами IEC 31010:2019, ISO 31000:2018), который позволяет вырабатывать управленческие решения в рамках системы управления профессиональными рисками. В таблице 5 представлена рекомендуемая структура карты профессиональных рисков, которая заполняется по мере сбора информации при выполнении перечисленных ниже этапов управления профессиональными рисками (согласно рис. 6).

Этап 1 «Определение ситуации» включает формулирование целей организации в области управления профессиональными рисками (с учетом внешних и внутренних условий), а также выбор объектов для дальнейшего анализа.

Этап 2 «Идентификация рисков» направлен на выявление всех возможных вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте, а также опасных ситуаций, которые могут привести к получению работником травмы или развитию профессиональных заболеваний. В качестве исходной информации при проведении идентификации рисков следует использовать следующие данные: результаты визуального осмотра рабочего места и анализа выполняемых на нем трудовых процессов, сообщения работников о ранее выявленных ими источниках опасности, протоколы исследований обстоятельств и причин несчастных случаев на производстве, результаты идентификации профессиональных рисков на аналогичных рабочих местах и другие данные.

Этап 3 «Анализ рисков» обеспечивает исходную информацию для дальнейшей оценки рисков и включает в себя определение возможных опасных событий, которые, с одной стороны, являются результатом существования идентифицированных рисков, а с другой – приводят к травмированию работников или развитию у них профессиональных заболеваний. На этапе анализа рисков крайне важно выявить причины и условия возникновения опасных событий, поскольку эта информация является основой для разработки мер по управлению профессиональными рисками. Идентификация опасных событий, а также причин и условий их возникновения приводит к составлению перечня сценариев негативного воздействия опасностей на работников.

Этап 4 «Оценка риска» предполагает расчет индекса профессионального риска (в соответствии с выражениями 1-3 или рис. 5) по каждому выявленному сценарию негативного воздействия источников опасности на работника. После этого принимается решение о необходимости дальнейшей обработки каждого оцененного риска (путем определения категории риска с помощью таблицы 5) и распределения приоритетов управления рисками на основе ранжирования рисков по индексу *R*. При оценке рисков следует учитывать, что каждый сценарий негативного воздействия может привести к различным альтернативным исходам, влекущим за собой различный ущерб для жизни и здоровья работника.



Рис. 6. Основные этапы управления профессиональными рисками  
Источник: расчеты авторов

Таблица 5

### Структура карты профессиональных рисков

№.	Название предмета	Описание предмета
1	Рабочее место	Указать название анализируемого рабочего места
2	Стадия рабочего процесса	Указать название анализируемой стадии рабочего процесса, которая реализуется на рассматриваемом рабочем месте
3	Источник опасности	Указать идентифицированные вредные/опасные производственные факторы или опасные ситуации, характерные для рассматриваемой стадии рабочего процесса
4	Опасное событие	Указать возможные опасные события для рассматриваемой стадии рабочего процесса, которые приводят к негативному воздействию источника опасности на работника
5	Причина опасности	Указать возможные причины возникновения рассматриваемого опасного события
6	Опасные условия	Указать возможные неблагоприятные условия для возникновения рассматриваемого опасного события, которые повышают вероятность/ущерб негативного воздействия источника опасности на работника
7	Индекс вероятности	Определить индекс вероятности P (в соответствии с выражением 2)
8	Индекс ущерба	Определить индекс повреждения Q (в соответствии с выражением 3)
9	Индекс риска	Указать индекс профессионального риска R (в соответствии с выражением 2) и оценку профессионального риска (категория) (в соответствии с таблицей 4) для сценария негативного воздействия источника опасности на рассматриваемого работника
10	Меры управления	Предоставить меры по управлению профессиональными рисками в связи со сценарием негативного воздействия источника опасности на рассматриваемого работника
11	Назначение ответственности	Указать фамилии лиц, ответственных за реализацию мер по управлению профессиональными рисками, а также сроки их реализации

Источник: расчеты авторов

Для того чтобы учесть все возможные альтернативы неблагоприятных последствий, рекомендуется строить профили риска в координатах  $R=f(Q)$ . Так, профиль риска, представленный на рис. 7, демонстрирует альтернативные варианты развития опасной ситуации, связанной с падением водителя карьерного самосвала с высоты палубы самосвала в процессе передачи смены.

Это негативное событие может привести к травмам различной степени тяжести, каждая из которых характеризуется различными индексами вероятности и, соответственно, различными индексами профессионального риска. Представленный профиль риска наглядно отражает уровни профессионального риска для каждого из альтернативных исходов и позволяет определить максимальный индекс профессионального риска для данного опасного события (согласно рис. 7,  $R^{max} = 935$  баллов).

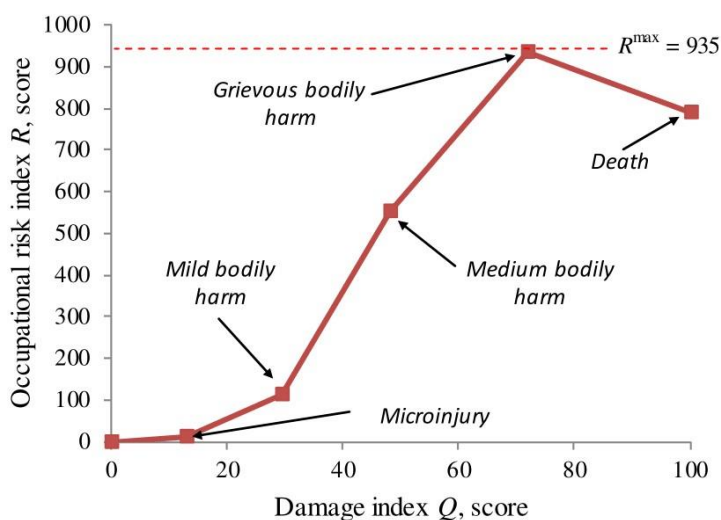


Рис. 7. Пример профиля профессионального риска  
Источник: расчеты авторов

Профили риска могут быть полезным инструментом для визуального сравнения различных профессиональных рисков при принятии управленческих решений. На рис. 8 показан пример профилей риска для альтернативных последствий опасных событий, обусловленных наличием источника опасности (пребывание в движущемся грузовике).

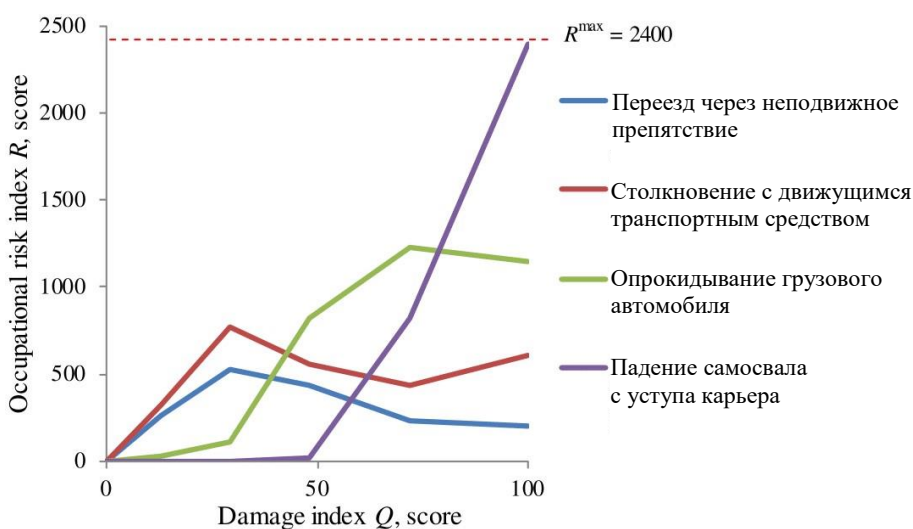


Рис. 8. Пример сравнения альтернативных исходов опасности с использованием профилей риска  
(источник опасности: пребывание в движущемся грузовике)  
Источник: расчеты авторов

Пятый этап, «Обработка рисков», включает в себя определение различных вариантов управления рисками (защитных мер), а также планирование мероприятий по управлению рисками. В этом случае ресурсы организации должны распределяться с учетом приоритетности управления различными профессиональными рисками (поскольку профессиональные риски с наибольшим значением индекса  $R$  требуют большего внимания).

Как уже было сказано выше, меры по управлению профессиональными рисками определяются на основе анализа причин и условий возникновения рассматриваемых опасных событий. В контексте специфики горнодобывающих организаций возможные меры по управлению профессиональными рисками могут быть следующими:

- устранение опасности (например, в результате модернизации рабочего места, отмены отдельных этапов трудового процесса и т.д.);
- меры по снижению вероятности наступления опасного события и/или потенциального ущерба, направленные на предотвращение возникновения причин и условий для наступления опасного события (например, для технических причин – это ремонт и замена оборудования, изменение производственного процесса; для организационных причин – усиление контроля за выполнением производственного процесса, обучение работников, применение мер дисциплинарного воздействия и т. д. (Никулин и др., 2019);
- меры по снижению вероятности наступления опасного события и/или потенциального ущерба, направленные на повышение защищенности работника от негативного воздействия источников опасности (например, внедрение автоматизированных систем безопасности, дополнительных защитных барьеров, обеспечение работников средствами индивидуальной защиты и т. д.).

Планирование выбранных мероприятий по управлению профессиональными рисками включает в себя определение группы лиц, ответственных за их реализацию, а также установление сроков их выполнения. Обязательной процедурой после реализации мероприятий по управлению рисками является оценка остаточного риска (аналогично этапу 4), по результатам которой принимается решение об эффективности защитных мер и необходимости их корректировки (Никулин и Никулина, 2017). В случае если профессиональный риск снижен до приемлемых значений, ресурсы организации должны быть направлены на минимизацию профессиональных рисков с более низким управленческим приоритетом.

### **Результаты и обсуждение**

Объектами апробации усовершенствованного метода матричной оценки профессионального риска и предложенной процедуры принятия решений по управлению профессиональным риском стали рабочие места действующего разреза. В состав экспертной группы, проводившей анализ, вошли действующие специалисты рассматриваемого предприятия и представители отраслевых вузов.

Объектами анализа стали рабочие места машинистов автовышек, машинистов экскаваторов, бурильщиков и ремонтников горных машин (общее количество анализируемых рабочих мест составило 44). В отношении рабочих мест экспертами были определены этапы трудового процесса, каждый из которых проходил процедуру идентификации рисков.

В соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 6, на начальном этапе также была сформулирована цель анализа, которая заключалась в следующем:

- выявление профессиональных рисков на рабочих местах, отнесенных к категории неприемлемого профессионального риска (категория «Высокий Риск» согласно табл. 4);
- ранжирование этих рисков в порядке приоритетности управления;
- составление перечня мероприятий по управлению профессиональными рисками, сроков их реализации и ответственных исполнителей.

В ходе идентификации рисков по каждому этапу трудового процесса на каждом рабочем месте был проведен анализ условий труда, в результате которого были выявлены источники опасности в количестве, представленном в табл. 6.

Результат идентификации источников опасности на рабочих местах

Рабочие места	Количество источников опасности, шт				
	Физические	Электротехнические	Химические	Климатические	Биологические
Водители грузовых автомобилей	10	1	2	2	-
Операторы экскаваторов	5	3	1	1	-
Бурильщики	6	1	3	3	-
Ремонтники шахтного оборудования	11	4	3	-	1

Источник: расчеты авторов

Риски идентифицировались с учетом результатов визуального осмотра рабочих мест, реестра выявленных нарушений правил и мер безопасности, а также анализа нормативов выполнения технологических операций на рабочих местах.

Экспертная группа реализовала этап анализа опасностей с использованием метода мозгового штурма, в результате которого было выявлено 276 возможных сценариев негативного воздействия выявленных источников опасности на работников. В качестве примера на рис. 9 представлен фрагмент карты рисков (в соответствии с табл. 5), демонстрирующий 4 альтернативных сценария воздействия рассматриваемого источника опасности (опасной ситуации) «Пребывание в движущемся самосвале».

В ходе оценки риска для каждого из выявленных сценариев был рассчитан индекс профессионального риска  $R$  (выражение 1), для чего была проведена экспертная оценка параметров  $\lambda$ ,  $D$  и  $T$  с последующим расчетом индексов  $P$  и  $Q$  (выражения 2 и 3). Полученные результаты были внесены в карту рисков (рис. 7) и использованы для категоризации профессиональных рисков и определения приоритетов управления. По результатам оценки и категоризации рисков общее количество сценариев, попавших в категорию «Высокий риск», составило 52.

В процессе оценки рисков эксперты построили профили рисков (пример представлен на рис. 8), которые также использовались в отчетных материалах для наглядного сравнения различных профессиональных рисков.

В соответствии с целью анализа все профессиональные риски, отнесенные к категории «Высокий риск», были дополнительно рассмотрены экспертной группой для определения перечня мер управления (защитных мер).

Рабочее место	Стадия рабочего процесса	Источник опасности	Опасное событие	Причина опасности	Опасные условия	Индекс вероятности	Индекс ущерба	Индекс риска
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водитель грузового автомобиля	Перевозки горных пород	Пребывание в движущемся грузовике	Травма в результате падения самосвала со скамьи карьера	1. Отказ тормозной системы 2. Движение самосвала вниз по склону	1. Недостаточная высота защиты 2. Наличие обледенения дороги	24	100	2400 (высокий риск)
			Травма в результате опрокидывания самосвала	1. Превышение скорости	1. Наличие дорожных неровностей	17	72	1227 (средний риск)
			Травма в результате столкновения с движущимся транспортным средством	1. Нарушение правил дорожного движения	1. Ночное время 2. Отсутствие знаков приоритета движения	26	29	772 (средний риск)
			Травма в результате наезда на неподвижное препятствие	1. Индивидуальная небрежность водителя грузовика	1. Ночное время 2. Неисправность освещения грузовика	18	29	530 (низкий риск)

Рис. 9. Фрагмент карты оценки профессионального риска  
Источник: расчеты авторов

По результатам оценки наивысший управленческий приоритет среди всех выявленных рисков был присвоен риску с максимальным значением  $R^{max} = 2400$  баллов (соответствует сценарию, при котором водитель самосвала получает травму в результате падения самосвала со скамьи карьера из-за отказа тормозной системы и наличия опасных условий, таких как недостаточная высота защитной насыпи скамьи и наличие наледи на карьерной дороге) ( $R^{max}$  был определен при анализе профиля риска на рис.

Для данного сценария экспертная группа рекомендовала следующие меры по управлению профессиональными рисками:

- 1) поддержание тормозной системы самосвала в хорошем рабочем состоянии;
- 2) внеплановая проверка технического состояния карьерных самосвалов;
- 3) усиление контроля за соблюдением правил технического обслуживания карьерной техники;
- 4) применение мер дисциплинарного воздействия к начальнику цеха технологического транспорта;
- 5) запрещение эксплуатации горной техники без цепей противоскольжения при обледенении дорог;
- 6) приведение защитной насыпи на уступах карьера и карьерных дорог в соответствие с проектной документацией.

Завершающим этапом принятия управленческих решений стало определение сроков исполнения регламента управления профессиональными рисками (с учетом ранжирования рисков по приоритетности для руководства) и возложение ответственности за их соблюдение (с учетом полномочий работников и подразделения организации).

Применительно к ряду сценариев возникновения опасных событий, помимо предложенного методического подхода к оценке рисков, экспертная группа также использовала стандартную матрицу рисков размером 5x5 ячеек (рис. 1). Таким образом, сравнение результатов показало, что при использовании стандартной матрицы оценки риска наибольшее количество опасных событий попало в наиболее индифферентную категорию – «Средний уровень риска» (81 % против 53 % для водителей самосвалов, 74 % против 55 % для машинистов экскаваторов, 75 % против 47 % для бурильщиков, 85 % против 64 % для ремонтников горных машин). Использование в предложенном методе количественных и однозначно интерпретируемых аргументов функций P и Q позволило минимизировать неопределенность выбора в процессе экспертной оценки, что привело к отнесению большей части опасных событий к категориям «Низкий риск» и «Высокий риск». Это позволило исключить из анализа опасности с незначительным уровнем риска и сконцентрировать ресурсы экспертной группы на работе с источниками опасности, имеющими наибольший управленческий приоритет. Как следствие, при использовании предложенного метода экспертам удалось сформулировать наибольшее количество целевых рекомендаций по управлению профессиональными рисками на рабочих местах (в среднем на 42 % больше). Данный результат свидетельствует о повышении эффективности использования ресурсов организации для разработки целевых защитных мер. По результатам апробации, помимо показанной здесь возможности более тонкого анализа источников опасности, экспертная группа также отметила повышение удобства использования предложенных расчетных алгоритмов для анализа разнообразных профессиональных рисков.

### Заключение

Любые попытки ограничить использование матриц риска для анализа профессиональных рисков часто оказываются тщетными, поскольку ресурсы групп оценки ограничены. По этой причине во многих случаях эксперты вынуждены использовать матричный метод оценки и зачастую рассматривают его как единственно возможный. Предложенные авторами пути преодоления недостатков классической матричной оценки рисков позволили разработать новый методологический подход, позволяющий в значительной степени преодолеть слабые стороны матриц рисков, а также сохранить простоту и наглядность матричного метода оценки. Одним из наиболее значимых результатов данного исследования является создание алгоритма расчета индекса профессионального риска, который позволяет:

- а) снизить субъективность результатов анализа и минимизировать возникновение когнитивных предубеждений при экспертной оценке за счет использования в качестве входных переменных

интуитивно понятных непрерывных переменных вероятности/повреждения (ожидаемая частота наступления неблагоприятного события, степень и продолжительность нарушения функций организма работника);

б) повысить уровень детализации выходных данных и преодолеть дискретность упрощенных линейных шкал матриц риска за счет использования регрессионных моделей для расчета индекса профессионального риска на основе логарифмического непрерывного распределения переменных;

в) использовать единый подход к анализу, корреляции и сопоставлению профессиональных рисков с различными типами последствий (травмы различной степени тяжести, заболевания, отравления и т.д.), основанный на признании универсальных входных переменных вероятности/повреждения и графическом анализе профилей профессиональных рисков.

В работе также представлены рекомендации по инвентаризации и систематизации информации для целей оценки профессионального риска, позволяющие разработать четко определенный механизм принятия управленческих решений в системе управления профессиональным риском, формирующий основу для оптимизации использования ресурсов оценочных групп. Разработанная методология оценки и управления профессиональными рисками располагает к дальнейшим исследованиям, направленным на риск-ориентированный анализ условий труда на горнодобывающих предприятиях, а также к разработке программного обеспечения для управления охраной труда и промышленной безопасностью.

Несмотря на то, что предлагаемая методика создана с учетом специфики горнодобывающих организаций, она может быть использована и в других отраслях промышленности при условии обоснования возможности ее применения в каждом конкретном случае. Наряду с этим при проведении оценки профессионального риска необходимо уделять большое внимание квалификации экспертов и качеству исходной информации, так как эти факторы оказывают большое влияние на эффективность предлагаемого инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alp, E. (2006). Risk Matrices – The Good, the Bad, and the Ugly. Air & Waste Management Association 2006 Annual Conference.
2. Balovtsev, S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K. S. (2020) Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 6, 85-94. <http://dx.doi.org/10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94>.
3. Bao, C., Wan, J., Wu, D., Li, J. (2019). Aggregating risk matrices under a normative framework. *Journal of Risk Research*, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2019.1588912>.
4. Company Standard Gazprom 18000.1-002-2014 Hazard Identification and Risk Management. Cox, L.A. (2008). What's Wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497–512. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>.
5. Dillon, R.L., Klein, G.A., Rogers, E.W., Scolese, C.J. (2018). Improving the use of risk matrices at NASA. 2018 IEEE Aerospace Conference. <http://dx.doi.org/10.1109/aero.2018.8396382>.
5. Duijm, N. J. (2015). Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety Science*, 76, 21–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.014>.
6. Elmonstri, M. (2014) Review of the strengths and weaknesses of risk matrices. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 4(1), 49-57.
7. Filimonov, V.A. and Gorina, L.N. (2019) Development of an Occupational Safety Management System Based On the Process Approach. *Journal of Mining Institute*, 235(1), 113-122. DOI: 10.31897/pmi.2019.1.113.
8. Franks, A.P. and Maddison, T. (2006) A simplified method for the estimation of individual risk. *Process Safety and Environmental Protection*, 84(2), 101-108. <http://dx.doi.org/10.1205/psep.04287>.
9. Gendler, S.G., Rudakov, M.L., Falova, E.S. (2020) Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the Far North of the Russian Federation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 81 – 85. <http://dx.doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/081>.
10. Hubbard, D. and Evans, D. (2010). Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment. *IBM Journal of Research and Development*, 54(3), 2:1–2:10. <http://dx.doi.org/10.1147/jrd.2010.2042914>.
11. IEC 31010:2019 «Risk Management – Risk Assessment Techniques», NEQ.
12. ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines», IDT.
13. Kabanov, E.I., Korshunov, G.I., Gridina, E.B. (2019) Algorithmic provisions for data processing under spatial analysis of risk of accidents at hazardous production facilities. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 117 – 121. <http://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/17>.
14. Kazanin, O.I., Rudakov, M.L., Kolvah, K.A. (2018) Occupational safety and health in the sector of coal mining. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(6), 1333-1339.

15. Kuletskiy, K.V., Zhunda, S.V., Rudakov, M.L., Pasyukov, A.V., Sobyenin, D.S. (2020) Use of occupational risk management procedure with the aim of improving training on occupational safety for the employees of the open-pit coal mining organizations. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti*, 2, 74-79. <http://dx.doi.org/10.24000/0409-2961-2020-2-74-79>.
16. Levine, E.S. (2012) Improving risk matrices: the advantages of logarithmically scaled axes. *Journal of Risk Research*, 15(2), 209-222. <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2011.634514>.
17. Markowski, A.S. and Mannan, M.S. (2008). Fuzzy risk matrix. *Journal of Hazardous Materials*, 159(1), 152-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.055>.
18. Mineur, J. (2017) Why the risk matrix must die. URL: <https://medium.com/@JornMineur/why-the-risk-matrix-must-die-620a7287e7c>.
19. Ni, H., Chen, A., Chen, N. (2010) Some extensions on risk matrix approach. *Safety Science*, 48(10), 1269-1278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.005>.
20. Nikulin, A., Ikonnikov, D., Dolzhikov, I. (2019) Increasing labour safety on coal mines. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 7(12), 842-848. <http://dx.doi.org/10.30534/ijeter/2019/197122019>.
21. Nikulin A.N. and Nikulina A.Y. (2017) Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company. *Ecology, Environment and Conservation*, 23(1), 351-355.
22. Noskov, V.A., Badtiev, B.P., Pavlovich, A.A. (2020) Risk management in open pit mining. *Gornyi Zhurnal*, 2, 51-55. <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2020.02.06>.
23. Pelipenko, M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. (2019) Integrated accident risk assessment in mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 11, 180-192. <http://dx.doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192>.
24. Rudakov, M.L., Kolvakh, K.A., Derkach, I.V. (2020) Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 3(11), 579-588. DOI: [http://dx.doi.org/10.14505/jemt.v11.3\(43\).10](http://dx.doi.org/10.14505/jemt.v11.3(43).10).
25. Semenov, A.S. and Kruk, M.N. (2017) Project risk analysis and management decision-making in determining the parameters of ore quarries. *Journal of Industrial Pollution Control*, 33(1), 1024-1028.
26. Skopintseva, O.V. and Balovtsev S.V. (2020) Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 6(1), 74-83. <http://dx.doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83>.
27. Smith, E.D., Siefert, W.T., Drain, D. (2009). Risk matrix input data biases. *Systems Engineering*, 12(4), 344-360. <http://dx.doi.org/10.1002/sys.20126>.
28. Tversky, A. and Kahneman, D. (1992) Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00122574>.
29. Wall, K.D. (2011) The trouble with risk matrices. URL: <https://calhoun.nps.edu/handle/10945/32570>.