

16. Piktushanskaya T. E. Evaluation of a posteriori occupational risk in coal miners. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2009. No. 1. pp. 32–37.
17. Mikhaylov V. G., Kiseleva T. V., Mikhaylova Ya. S. Development of a system to manage the environmental and economic security of a coal mining region. *Ugol*. 2021. No. 12. pp. 50–56.
18. Kondrasheva N. K., Ereemeeva A. M. Production of biodiesel fuel from vegetable raw materials. *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 260. pp. 248–256.
19. Golik V. I., Stas G. V., Liskova M. Yu., Kongar-Syuryun Ch. B. Improvement of the occupational safety by radical isolation of pollution sources during underground ore mining. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2021. No. 7. pp. 7–12.
20. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Assessment of the cumulative impact of occupational injuries and diseases on the state of labor protection in the coal industry. *GIAB*. 2022. No. 10-2. pp. 105–116.
21. Kabanov E. I., Pankin A. N., Korshunov G. I. Development of matrix risk assessment method in field of occupational safety and health management. *GIAB*. 2020. No. 6. Special issue 23. Occupational Risk Reduction in Coal Mining Industry. pp. 31–42.
22. Working Environment. Federal State Statistics Service. Available at: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (accessed: 15.04.2023).
23. Rodionov V. A., Tursenev S. A., Skripnik I. L., Ksenofontov Yu. G. Results of the study of kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 246. pp. 617–622.
24. Mishra R. K., Rinne M. Guidelines to design the scope of a geotechnical risk assessment for underground mines. *Journal of Mining Science*. 2014. Vol. 50, Iss. 4. pp. 745–756.
25. Babyr N., Babyr K. To improve the contact adaptability of mechanical roof support. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources : Proceedings of XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers*. 2021. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 266. 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202126603015
26. Kornev A. V., Spitsin A. A., Korshunov G. I., Bazhenova V. A. Preventing dust explosions in coal mines: methods and current trends. *GIAB*. 2023. No. 3. pp. 133–149.
27. Kravchuk I. L., Nevolina E. M., Emelin Yu. A. Economic aspect of production risk management. *GIAB*. 2019. No. 10. pp. 16–21.
28. Blinova E., Ponomarenko T., Tesovskaya S. Key corporate sustainability assessment methods for coal companies. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, Iss. 7. 5763. DOI: 10.3390/su15075763
29. Dubovets D. S. Social and economic damage from industrial traumatism and occupational diseases. *Okhrana i ekonomika truda*. 2018. No. 3(32). pp. 20–24.
30. Kuklina T. V. Labor protection at Kuzbass coal enterprises in the context of decent work. *Sustainable Social and Economic Development in the Russian Federation : XXIII All-Russian Conference Proceedings*. Simferopol : IT "ARIAL", 2021. pp. 113–118.
31. Smagina S. S., Kadnikova O. V., Rolgayzer A. A. Industrial safety management at Kuzbass coal mining enterprises. *Ekonomika truda*. 2018. Vol. 5, No. 2. pp. 541–553.
32. Zinoveva O. M., Merkulova A. M., Smirnova N. A., Zholmanov D. K. Methodological approach to risk management improvement in mines on the ground of managerial competence analysis. *GIAB*. 2023. No. 4. pp. 168–178.
33. Kravchuk I. L., Kravchuk T. S., Kutuzova A. A. Analysis of industrial injuries in coalmines with the risk-based approach (on the example of JSC "SUEK-Kuzbass"). *Problemy nedropolzovaniya*. 2021. No. 3(30). pp. 6–15.
34. X-Soft. Exoris. Available at: <https://exorise.com/projects/x-soft.html> (accessed: 15.06.2022).

УДК 622.8

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ С УЧЕТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА



Е. И. КАБАНОВ,

доцент, канд. техн. наук,
kabanov_ei@pers.spmi.ru

Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

В период с 2010 по 2020 г. удельный показатель смертельного травматизма при подземной добыче угля снизился с 1,35 до 0,14 чел/млн т [1, 2]. Однако систематически происходят крупные аварии с многочисленными жертвами (2013, 2016, 2021 гг.), что нарушает общую тенденцию снижения уровня травматизма и требует повышения степени противоаварийной защиты угольных шахт [3, 4].

Каждая авария является следствием совокупного действия горно-геологических, технологических, организационных

Проанализированы данные о возникновении опасностей и риска аварий на угольных шахтах. Обоснована актуальность применения риск-ориентированного подхода для обеспечения противоаварийной устойчивости угледобывающих предприятий. Предложена концептуальная схема противоаварийной защиты угольных шахт, включающая три уровня защиты. Описан алгоритм расчета показателей риска аварий с учетом человеческого фактора. Представлены результаты апробации предложенного метода на примере действующих в России угольных шахт.

Ключевые слова: угольная шахта, промышленная безопасность, охрана труда, противоаварийная защита, риск-ориентированный подход, оценка риска, управление риском, человеческий фактор

DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07

причин и человеческого фактора, что требует проведения системных мероприятий по обеспечению противоаварийной устойчивости [5]. К настоящему времени разработаны технологии, позволяющие безопасно осуществлять подземную добычу угля в сложных горно-геологических условиях, и наиболее уязвимым элементом в системе противоаварийной

защиты является человеческий фактор [6]. В целях предупреждения аварий на угольных шахтах следует рассматривать мероприятия, которые позволят усовершенствовать систему управления горнодобывающим предприятием и повысить качество принимаемых управленческих решений [7, 8]. По мнению профессионального сообщества, решение данной задачи может базироваться на интеграции принципов риск-ориентированного подхода в систему менеджмента горных предприятий и государственного надзора в области промышленной безопасности, что требует наличия методического обеспечения для анализа опасностей и оценки риска аварий, учитывающего специфику деятельности угольных шахт.

К настоящему времени накоплен значительный объем качественных, полуколичественных и количественных методов, пригодных для оценки риска аварий на угледобывающих предприятиях [9, 10]. Учитывая широкий комплекс разнородных причин аварий, наиболее подходящим является подход [11], который позволяет провести полуколичественную оценку риска в отношении шести видов аварий на основе анализа наиболее значимых факторов риска. С другой стороны, невозможность системного учета человеческого фактора при анализе риска аварий отдельных видов и весьма трудоемкий алгоритм определения исходных данных накладывают существенные ограничения на качество получаемых результатов [12, 13]. Это обосновывает актуальность настоящей работы, посвященной усовершенствованию и апробации методического подхода, базирующегося на раскрытом в работе [11] принципе многофакторного анализа риска, в целях повышения качества принимаемых управленческих решений.

Методика исследования

Авария на угольной шахте является статистически-редким случайным событием, возникающим под влиянием большого числа разнородных факторов риска. Это требует при анализе риска учета, с одной стороны, коренных источников опасности аварий, обусловленных, как правило, влиянием природных факторов, а с другой – состояния системы защиты, которая противопоставляется воздействию источников опасности. В соответствии с методом анализа уровней защиты LOPA [14] (см. **рисунок**) в концептуальной схеме системы противоаварийной защиты угольной шахты возможно выделить три уровня, последние два из которых полностью определены человеческим фактором:

I уровень защиты (технический) – обусловлен функционированием технических средств, противодействующих источникам опасности и препятствующих их переходу в опасное состояние;

II уровень защиты (исполнительный) – обусловлен действиями рабочего персонала, направленными на управление техническими средствами, воздействие на источники опасности и реализацию технологии ведения работ;

III уровень защиты (организационный) – предусматривает действия руководителей среднего и высшего звена,

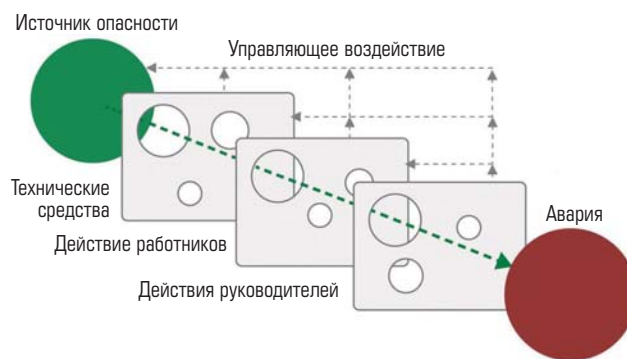


Схема уровней защиты от аварий на угольной шахте

направленные на организацию и контроль рабочей деятельности персонала, стратегическое управление деятельностью предприятия в области промышленной безопасности.

Наличие недостатков в любом из трех уровней защиты формирует предпосылки для возникновения аварии. Так, технический отказ на I уровне защиты может привести к неспособности технических средств противодействовать источникам опасности; неверные действия или бездействие персонала на II уровне защиты приводит к снижению эффективности работы технических средств и увеличению вероятности технических отказов на I уровне защиты; нарушения в системе организации работ на III уровне защиты способствуют принятию неверных управленческих решений, увеличению вероятности технических отказов на I уровне защиты и ошибок персонала на II уровне защиты.

Таким образом, показатель риска аварии должен в обязательном порядке учитывать факторы, характеризующие параметры коренных источников опасности, и факторы, описывающие состояние I, II и III уровней защиты. В соответствии с этим в качестве показателя риска аварии i -го вида предлагается использовать показатель R_i , %, определяемый на основе совокупности значений индексов риска (ИР) факторов аварии, в том числе человеческого фактора:

$$R_i = \frac{\Sigma r_i + \Sigma r_i^I + \Sigma r_i^{II} + \Sigma r_i^{III}}{\Sigma r_{i(\max)} + \Sigma r_{i(\max)}^I + \Sigma r_{i(\max)}^{II} + \Sigma r_{i(\max)}^{III}},$$

где Σr_i – сумма ИР факторов, характеризующих состояние источников опасности аварии i -го вида (факторы опасности), балл; Σr_i^I – сумма ИР факторов, характеризующих состояние I уровня защиты от аварии i -го вида (технические факторы), балл; Σr_i^{II} , Σr_i^{III} – суммы ИР факторов, характеризующих состояние II и III уровней защиты от аварии i -го вида соответственно (человеческий фактор), балл; $\Sigma r_{i(\max)}$, $\Sigma r_{i(\max)}^I$, $\Sigma r_{i(\max)}^{II}$, $\Sigma r_{i(\max)}^{III}$ – максимально возможные значения Σr_i , Σr_i^I , Σr_i^{II} , Σr_i^{III} соответственно, балл. ИР факторов определяются в интервале $0,0 \leq r \leq 1,0$ на основе экспертных оценок в зависимости от степени влияния фактора на возможность возникновения аварии и тяжести ее последствий.

Таблица 1. Группы факторов риска аварий, характеризующие состояние источников опасности и состояние I уровня защиты

Группа	Вид аварии	Группы факторов риска аварии
1	Взрыв (горение, вспышка) газа и угольной пыли	1.1 Интенсивность выделения взрывоопасных газов
		1.2 Интенсивность выделения взрывоопасной пыли
		1.3 Состояние вентиляционной системы шахты
		1.4 Состояние системы дегазации
		1.5 Состояние систем пылеподавления и пылевзрывозащиты выработок
		1.6 Состояние системы аэрогазового контроля
		1.7 Уровень пожарной безопасности и электробезопасности оборудования
2	Обрушение горной массы, крепи	2.1 Состояние пород кровли и особенности строения горного массива
		2.2 Состояние крепи горных выработок
		2.3 Уровень контроля состояния пород кровли
3	Эндогенный пожар	3.1 Уровень эндогенной пожароопасности угольных пластов
		3.2 Состояние системы защиты от эндогенных пожаров
		3.3 Состояние системы контроля эндогенной пожароопасности
4	Экзогенный пожар	4.1 Наличие горючих веществ
		4.2 Состояние системы пожарной безопасности
		4.3 Уровень электробезопасности оборудования
		4.4 Состояние системы контроля пожарной безопасности
5	Затопление горных выработок, прорыв воды	5.1 Наличие источников затопления горных выработок
		5.2 Состояние системы защиты от прорывов воды (пульпы) в выработки
		5.3 Состояние системы мониторинга опасности затоплений выработок
6	Внезапный выброс	6.1 Уровень выбросоопасности пласта
		6.2 Состояние системы защиты от внезапных выбросов
		6.3 Состояние системы прогноза внезапных выбросов
7	Горный удар	7.1 Уровень удароопасности пласта
		7.2 Состояние системы защиты от горных ударов
		7.3 Состояние системы прогноза горных ударов

Показатель риска аварии i -го вида изменяется в интервале $0 \leq R_i \leq 100$ и отображает степень отклонения существующей комбинации факторов риска аварии i -го вида от наиболее безопасного состояния (где $R_i = 0\%$ – все факторы риска находятся в наиболее безопасном состоянии, $R_i = 100\%$ – все факторы риска находятся в наиболее опасном состоянии). Для оценки риска аварий на шахте $R, \%$, предлагается

Таблица 2. Группы факторов риска аварий, характеризующие состояние II и III уровней защиты

Группа	Факторы риска аварии
1	Уровень квалификации персонала
2	Укомплектованность штата работников
3	Взаимодействие с подрядными организациями
4	Уровень организации производственной деятельности
5	Уровень контроля действий персонала
6	Уровень мотивации персонала

использовать показатель риска аварии i -го вида с наибольшим значением:

$$R = \max(R_i).$$

Перечень факторов риска определен на основе Руководства по безопасности [11] с учетом рекомендаций профессионального сообщества, осуществлявшего широкую апробацию различных подходов к оценке риска аварий в условиях действующих угледобывающих предприятий. Итоговый перечень включает более 90 факторов риска аварий, которые были подразделены на 32 группы факторов, представленные в **табл. 1, 2**.

Схема на рисунке демонстрирует, что условия для возникновения аварии формируются тогда, когда происходят и совпадают во времени отказы на трех уровнях защиты: например, произошел отказ технического средства (отказ I уровня защиты); работник вовремя не осуществил контроль работоспособности технического средства (отказ II уровня защиты); руководитель работ не осуществил контроль за действиями работника (отказ III уровня защиты). Поскольку по мере роста отклонения существующей комбинации факторов риска аварии от наиболее безопасного состояния (т. е. по мере роста показателя риска аварии R_i) происходит увеличение вероятности возникновения отказов в системе защиты, для характеристики возможности одновременного отказа всех трех уровней защиты предлагается использовать следующие категории риска аварии:

«Умеренный риск» – обусловлен отсутствием отклонений или наличием несущественных отклонений от наиболее безопасного состояния на I, II, III уровнях защиты; одновременный отказ трех уровней защиты представляется маловероятным;

«Средний риск» – обусловлен наличием отклонений от наиболее безопасного состояния на I, II, III уровнях защиты; в случае дальнейшей эскалации опасности возможен одновременный отказ трех уровней защиты;

«Значительный риск» – обусловлен наличием существенных отклонений от наиболее безопасного состояния на I, II, III уровнях защиты; возможен одновременный отказ трех уровней защиты;

«Высокий риск» – обусловлен наличием существенных отклонений от наиболее безопасного состояния на I, II, III

уровнях защиты; высокая вероятность одновременного отказа трех уровней защиты.

Числовые диапазоны показателя R_i и рекомендованные стратегии по управлению риском составлены для каждой категории с учетом степени отклонения от наиболее безопасного состояния и представлены в табл. 3.

Результаты исследований

Апробация предложенного метода оценки риска аварий проведена на примере действующих угольных шахт России. Исходные данные были получены при обработке сформированных угледобывающими предприятиями анкет самооценки, включающих параметры исследуемых факторов риска. Результаты оценки свидетельствуют, что в целом риск аварий R на угольных шахтах России находится в пределах допустимых значений: 57 % предприятий отнесены к категории значительного риска; 28 % предприятий – к категории среднего риска; 15 % предприятий – к категории умеренного риска. У 2 % предприятий одновременно наблюдаются значительные уровни риска по авариям трех различных видов, у 11 % предприятий – по авариям двух видов. В категорию среднего риска одновременно по авариям четырех различных видов попали 2 % предприятий, трех видов – 11 % предприятий, двух видов – 22 % предприятий.

Распределение шахт по категориям риска (табл. 4) свидетельствует о преобладающей опасности аварий, происходящих в результате взрыва (горения, вспышки) газа и угольной пыли; обрушения горной массы, крепи; внезапного выброса; горного удара. В целях разработки рекомендаций по внедрению корректирующих мероприятий в отношении указанных видов аварий был проведен анализ факторов, повлиявших на формирование на предприятиях среднего и значительного уровней риска.

По виду аварии «Взрыв (горение, вспышка) газа и угольной пыли» среди шахт, отнесенных к категориям среднего и значительного риска, в среднем 46 % ИП связаны с коренными источниками опасности (выделением взрывоопасных

Таблица 3. Категории риска и рекомендованные стратегии по управлению риском

Категория риска	Показатель риска, %	Стратегия по управлению риском и степень допустимости риска
Умеренный риск	$0 \leq R_i < 25$	Дополнительные корректирующие мероприятия не требуются; риск допустимый
Средний риск	$25 \leq R_i < 35$	Сокращение периодичности и увеличение глубины контроля производственной среды с целью заблаговременного выявления роста опасности; риск допустимый при условии усиления контроля
Значительный риск	$35 \leq R_i < 55$	Разработка и реализация плана осуществления корректирующих мероприятий без остановки работ; риск допустимый при условии выполнения плана реализации корректирующих мероприятий
Высокий риск	$55 \leq R_i \leq 100$	Остановка работ до реализации корректирующих мероприятий и перевода уровня риска в более низкую категорию; недопустимый риск

газов и наличием взрывоопасной пыли в выработках); 29 % – с состоянием вентиляционной системы (в 2 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска); 14 % – с состоянием системы дегазации (в 4 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска); 7 % – с возможным влиянием человеческого фактора (в 2 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска). Анализ показал, что в условиях высокой метаобоильности и наличия взрывоопасной пыли даже единичные отступления от требований безопасности приводят к значительному увеличению риска аварии [15, 16]. Полученные результаты согласуются с выводами ранее проведенных исследований и свидетельствуют о том, что на ряде угольных шахт как безопасность, так и производительность жестко

Таблица 4. Распределение угольных шахт по категориям риска аварий

Вид аварии	Доля шахт с наличием коренного источника опасности, %	Распределение шахт по категориям риска (среди предприятий с наличием коренного источника опасности), %			
		Умеренный риск	Средний риск	Значительный риск	Высокий риск
Взрыв (горение, вспышка) газа и угольной пыли	80	33	43	4	0
Обрушение горной массы, крепи	100	22	37	41	0
Эндогенный пожар	54	48	4	2	0
Экзогенный пожар	100	98	2	0	0
Затопление горных выработок, прорыв воды	32	30	2	0	0
Внезапный выброс	43	13	15	15	0
Горный удар	70	37	22	11	0

ограничены газовым фактором [17, 18]. Было отмечено значительное влияние состояния системы дегазации на риск аварии, что требует более широкого внедрения комплексных технологий дегазационной подготовки угольных пластов, например дегазации с использованием гидрорасчленения с поверхности [19]. Вместе с тем выявленные на ряде предприятий частые аварийные загазирование выработок и неблагоприятное состояние системы вентиляции могут свидетельствовать о наличии системных проблем в области обеспечения аэрологической безопасности. В подобных условиях значительно возрастает актуальность внедрения в отрасли принципов независимого аудита вентиляционных сетей шахт и баз компьютерного моделирования, используемых для оперативных расчетов проветривания силами специализированных и независимых организаций [20].

По виду аварии «Обрушение горной массы, крепи» среди шахт, отнесенных к категориям среднего и значительного риска, в среднем 42 % ИП обусловлены состоянием крепи горных выработок (в 3 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска); 33 % – состоянием пород кровли и особенностями строения горного массива (в 3 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска); 14 % – состоянием системы контроля пород кровли; 11 % – возможным влиянием человеческого фактора (в 2 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска). Без применения корректирующих мероприятий указанные факторы все чаще будут приводить к авариям в прогнозируемых условиях увеличения глубины ведения работ, роста нагрузок на забои и скорости проходки выработок [21, 22]. Таким образом, задача минимизации риска обрушений во многом сводится к повышению эффективности работы систем контроля состояния горных выработок, в том числе соблюдения паспортов крепления [23]. Это может быть достигнуто за счет создания в организационной структуре предприятий подразделений, специализирующихся на обеспечении устойчивого эксплуатационного состояния выработок [24]. Примечателен опыт компании ОАО «СУЭК-Кузбасс» по созданию технологической службы крепления выработок, в задачи которой входят: организация системного мониторинга состояния горных выработок; контроль качества разрабатываемых паспортов крепления; контроль качества крепления горных выработок; соблюдение технологической дисциплины посредством оптимизации работы шахтовых технических служб контроля состояния выработок [25]. Следует уделять внимание развитию методов автоматизированного контроля состояния крепи в целях минимизации воздействия человеческого фактора при идентификации опасностей. Перспективным является применение датчиков контроля нагрузки на крепь и датчиков расслоения пород кровли, которые могут быть интегрированы в состав multifunctionальных систем безопасности и позволяют осуществлять дистанционный мониторинг в режиме реального времени [26]. Вместе с тем для получения фактической достоверной информации о проявлениях горного

давления следует развивать практику проведения шахтных экспериментальных исследований, включая эндоскопические исследования состояния кровли на разных этапах эксплуатации выработок [27].

Анализ факторов риска аварий, связанных с геогадинамическими явлениями, позволил выявить следующие распределения. По виду аварии «Внезапный выброс» среди шахт, отнесенных к категориям среднего и значительного риска, в среднем 42 % ИП связаны с коренным источником опасности (выбросоопасностью пласта); 33 % – с состоянием системы защиты от внезапных выбросов (в 11 раз выше, чем у шахт категории умеренного риска); 15 % – с возможным влиянием человеческого фактора; 9 % – с состоянием системы прогноза внезапных выбросов (в 3 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска). По виду аварии «Горный удар» среди шахт, отнесенных к категориям среднего и значительного риска, в среднем 40 % ИП обусловлены состоянием системы защиты от горных ударов (в 5 раз выше, чем у шахт категории умеренного риска); 32 % – коренным источником опасности (удароопасностью пласта); 14 % – состоянием системы прогноза горных ударов (в 5 раз выше, чем у шахт категории умеренного риска); 14 % – возможным влиянием человеческого фактора. При изменении горно-геологических и горнотехнических условий необходимо иметь возможность заблаговременно и эффективно управлять состоянием массива, что требует более широкого применения технологий предотвращения внезапных выбросов и горных ударов (защитной надрботки и подработки, гидрообработки, бурения разгрузочных скважин и др.) [28], а также повышения качества геомеханического обеспечения горных работ: геодинамического районирования, мониторинга и оценки напряженно-деформированного состояния. Системы прогноза геодинамической обстановки должны основываться преимущественно на средствах иерархического мониторинга (от региональных до локальных методов), учитывающих разнородные данные о свойствах массива и позволяющих осуществлять своевременный автоматизированный прогноз развития опасных геогадинамических явлений в режиме реального времени [29].

Риск рассмотренных видов аварий в значительной степени обусловлен влиянием человеческого фактора. У 7 % предприятий отклонение ИП человеческого фактора (см. табл. 2) от наиболее безопасного состояния превышает 30 %; у 31 % шахт отклонение составляет от 20 до 30 %; у 54 % шахт оно не превышает 20 %. Следует отметить, что в плане причин возможного влияния человеческого фактора, у шахт, отнесенных к категориям среднего и значительного риска, в среднем 11 % ИП связаны со взаимодействием с подрядными организациями (в 6 раз выше, чем у шахт категории умеренного риска); 6 % – с укомплектованностью штатом работников (в 3 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска); 6 % – с уровнем квалификации персонала (в 2 раза выше, чем у шахт категории умеренного риска). Значительная роль подрядных организаций

в формировании человеческого фактора обусловлена тем, что их стремление снизить экономически обоснованную цену контракта на выполнение работ для обеспечения собственного конкурентного преимущества зачастую приводит к сокращению ресурсов, затрачиваемых на безопасность [30]. Для борьбы с этим необходимо внедрять новые механизмы управления безопасностью при взаимодействии заказчика работ и подрядчика. Здесь эффективен инструмент оценки подрядчиков при проведении конкурсных процедур, позволяющий учитывать эффективность деятельности подрядных организаций в области охраны труда и промышленной безопасности [31]. Указанная проблема не остается без внимания государственных органов: в соответствии с [32], с 2022 г. установлен перечень мероприятий, регламентирующий совместную деятельность заказчиков и подрядных организаций в области управления рисками. Так, заказчик и подрядчик должны составлять единый перечень опасностей, вредных и опасных производственных факторов. Кроме этого, заказчик обязан предоставлять подрядным организациям сведения о существующих рисках и в обязательном порядке включать в заключаемые договоры согласованные с подрядчиками мероприятия по предотвращению случаев повреждения здоровья работников. В ходе проведенного анализа было показано, что невыполнение требований [33] к укомплектованности штата работников влечет за собой существенный рост риска аварий и формирует острую необходимость реформирования системы поиска и подбора персонала, приведения заработных плат работников в соответствии с рыночными условиями по каждому региону. Вместе с тем задача управления человеческим фактором в контексте промышленной безопасности не может быть решена без обеспечения необходимого уровня квалификации рабочих и инженерно-технических кадров. Постоянные изменения условий ведения работ, модернизация оборудования и обновление регуляторной базы требуют непрерывного обучения персонала угольных шахт, в особенности руководителей работ. В подобных условиях жизненно необходим переход к концепции непрерывного образования, открывающий возможность приобретения в случае производственной необходимости новых компетенций, непрерывного профессионального развития по вопросам безопасности для всех категорий работников [34, 35]. Освоение программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки, реализуемых ведущими университетами и научными центрами, является

необходимой составляющей успешной борьбы с авариями на угольных шахтах.


Заключение

Предложенная схема функционирования системы противоаварийной защиты позволила усовершенствовать методологию анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах. При этом был получен практический результат, заключающийся в возможности анализа на основе упрощенного математического алгоритма актуализированного перечня факторов риска, в том числе человеческого фактора.

Апробация на примере действующих угольных шахт России показала, что предложенный метод является инструментом для проведения анализа риска аварий и принятия управленческих решений на отраслевом уровне. Так, был обоснован наивысший приоритет задач по предотвращению причин взрывов газа и угольной пыли, обрушений горной массы в выработках, внезапных выбросов и горных ударов. Показано, что на угледобывающих предприятиях со средним и значительным уровнями риска аварий, помимо более широкого применения существующих технических средств защиты, целесообразно внедрять современные системы дистанционного и автоматизированного контроля источников опасностей. Вместе с тем анализ причин влияния человеческого фактора свидетельствует о наиболее высоком приоритете задач по реформированию систем взаимодействия с подрядными организациями, подбору, мотивированию и обучению персонала.

При условии системной реализации в отрасли корректирующих мероприятий усредненный по всем предприятиям показатель риска аварий может быть снижен с 34 до 23 %, что позволит добиться сдерживания опасностей на уровне умеренного риска. Для этого необходимы скоординированные действия со стороны государства, бизнеса и научных организаций, направленные в первую очередь на развитие экономического механизма защиты интересов общества от аварий на угольных шахтах, а также повышение безопасности технологического ведения горных работ.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 9, pp. 48–54
DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07

Analysis of accidents risk in coal mines taking into account human factor

Information about author

E. I. Kabanov¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, kabanov_ei@pers.spmi.ru

¹Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article is devoted to improving and testing the method of hazard analysis and accident risk assessment at coal mines. The author presents the indicators of fatal injuries during underground coal mining in Russia in the period of 2010–2021, and describes the dominant role of the human factor in the causes of accidents. The paper substantiates the relevance of a risk-based approach to ensure industrial safety in coal mining. In the process of the methodological framework analysis, the directions for the development of risk assessment methods are revealed. A

conceptual emergency protection scheme of coal mines is proposed, which includes three protection levels. The list of the accident risk factors is formed on the basis of this scheme. An algorithm for calculating accident risk indicators is described, taking into account the human factor, and the choice of risk management strategies depending on the risk category is substantiated. The results of the method testing at Russian coal mines are presented and the distributions of coal mines by the risk categories are obtained. The risk dominant factors of accidents caused by gas and dust explosion, rock mass and mine support failures, as well as by outbursts and rockbursts are analyzed. Recommendations for accident risk management are proposed, which consist in the wider use of safe work practices, development of remote automated monitoring systems, reforming the systems of interaction with contractors, and personnel selection, motivation and training.

Keywords: coal mine, industrial safety, occupational safety and health, industrial accident, emergency protection system, risk-oriented approach, risk assessment, risk management, human factor.

References

- Annual report about the activity of the Federal service for ecological, technological and nuclear inspection in 2016. Moscow : NTTs PB, 2021. 407 p.
- Petrenko I. E. Russia's coal industry performance for January–December, 2021. *Ugol*. 2022. No. 3. pp. 9–24.
- Kabanov E. I. Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry. *GIAB*. 2022. No. 5. pp. 167–180.
- Fomin A. I., Khalyavina M. N., Osipova A. A. Occupational injuries and occupational morbidity problems research. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti*. 2017. No. 4. pp. 82–90.
- Kravchuk I. L., Kravchuk T. S., Kutuzova A. A. Analysis of industrial injuries in coalmines with the risk-based approach (on the example of JSC SUEK-Kuzbass). *Problemy nedropolzovaniya*. 2021. No. 3(30). pp. 6–15.
- Mohammadfam I., Khajevandi A. A., Dehghani H., Babamiri M., Farhadian M. Analysis of factors affecting human reliability in the mining process design using Fuzzy Delphi and DEMATEL Methods. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, Iss. 13. 18168. DOI: 10.3390/su14138168
- Gendler S., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. *Resources*. 2021. Vol. 10, Iss. 3. 20. DOI: 10.3390/resources10030020
- Korshunov G. I., Rudakov M. L., Kabanov E. I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. Vol. 9, Iss. 1(25). pp. 181–186.
- Gridina E. B., Borovikov D. O. Identification of the causes of injuries based on occupational risk assessment maps at the open-pit coal. *GIAB*. 2022. No. 6-1. pp. 114–128.
- Gridina E., Kovshov S., Borovikov D. Hazard mapping as a fundamental element of OSH management systems currently used in the mining sector. *Nauchnyi vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta*. 2022. No. 1. pp. 107–115.
- Methodical guidelines on hazard analysis and accident risk evaluation in coal mines : Safety manual. Moscow : NTTs PB, 2018. Series 05. Safety, supervision and permission activities in the coal industry. Iss. 52. 36 p.
- GOST R P 58771–2019 (IEC 31010:2019, NEQ). Risk management. Risk assessment technologies. Moscow : Standartinform, 2020. 90 p.
- Klimova I. V., Smirnov Yu. G., Rodionov V. A. Modeling of the interrelations between the working conditions and the health of oil sheds personnel using fuzzy logic. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2022. No. 1. pp. 46–50.
- Samia Hariz, Fares Telli. The evaluation of safety barriers using the Method Lopa Case: Haoud Berkaoui in Sonatrach. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. 2019. Vol. 7, No. 3. pp. 68–74.
- Kaledina N. O., Malashkina V. A. Indicator assessment of the reliability of mine ventilation and degassing systems functioning. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 250. pp. 553–561.
- Romanchenko S. B., Naganovskiy Yu. K., Kornev A. V. Innovative ways to control dust and explosion safety of mine workings. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 252. pp. 927–936.
- Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *GIAB*. 2021. No. 1. pp. 78–89.
- Balovtsev S. V. Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines. *GIAB*. 2021. No. 2-1. pp. 5–17.
- Slastunov S. V., Ponizov A. V., Sadov A. P., Khautiev A. B.-M. Hydro-splitting of coal seams for their effective degassing preparation through underground wells. *GIAB*. 2020. No. 6-1. pp. 15–25.
- Xinchun Li, Xiaolin Zhang, Quanlong Liu, Yueqian Zhang, Xiao Gu et al. Research on coal mine building compliance inspection system based on accident causation and BIM in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, Iss. 24. 16466. DOI: 10.3390/ijerph192416466
- Zubov V. P., Le Quang Phuc. Development of resource-saving technology for excavation of flat-lying coal seams with tight roof rocks (on the example of the Quang Ninh coal basin mines). *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 257. pp. 795–806.
- Verbilo P., Karasev M., Belyakov N., Iovlev G. Experimental and numerical research of jointed rock mass anisotropy in a three-dimensional stress field. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2022. Vol. 37, No. 2. pp. 109–122.
- Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of the Individual Risk of Fatal Injury to Coal Mine Workers During Collapses. *Nauchnyi vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta*. 2020. No. 4. pp. 88–93.
- Kostyrykin A. P., Shaydulkin K. V., Ushakov E. N., Merzlyakov P. E. Review of anchor support efficiency inspection methods in use. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*. 2010. No. 2. pp. 207–211.
- Kazanin O. I., Yutyaev E. P., Ermakov A. Yu. The organization of continuous control of the rock bolts statement in the roadways at jsc «suek-kuzbass» coal mines. *GIAB*. 2013. No. 4. pp. 253–256.
- Nikitina S. I., Kononov M. A., Stepanov Yu. A. Creation of a system of automated monitoring and accounting of roof offsets of underground products. *Eastern European Scientific Journal*. 2020. No. 5-2(57). pp. 55–59.
- Kazanin O. I., Ilinets A. A. Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 253. pp. 41–48.
- Shevchenko L. A. Warning gas-dynamic phenomena in mines. *Safety of Activities for Enterprises In Industrially Developed Regions : XIII International Scientific Conference Proceedings*. Kemerovo : Kuzbasskiy gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. T. F. Gorbacheva, 2019. pp. 1–4.
- Shadrin A. V., Teleguz A. S. Coal mine multifunctional safety outburst hazard forecast subsystem structure. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*. 2020. No. 2. pp. 21–31.
- Farakhutdinova Z. G., Bakhonina E. I., Shutov N. V. Improvement of interaction mechanism between oil refining enterprises and contractors. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2022. No. 3. pp. 18–23.
- Bochkareva O. Yu. Tools for evaluating the contractor during the tender procedure for performing construction works / rendering services. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2021. No. 4(87). pp. 157–165.
- Available at: <https://docs.cntd.ru/document/727092660> (accessed: 24.06.2023).
- Available at: <https://docs.cntd.ru/document/9046058> (accessed: 24.06.2023).
- Kazanin O. I., Marinin M. A., Blinov A. M. Professional retraining in the staffing system for the mining enterprises. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2021. No. 7. pp. 79–84.
- Smiriakova V., Smiriakov V., Almosova Ya., Kargopolova A. “Vision Zero” Concept as a Tool for the Effective Occupational Safety Management System Formation in JSC SUEK-Kuzbass. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Iss. 11. 6335. DOI: 10.3390/su13116335