



УДК 622.817:338.246.025.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ ВЗРЫВА МЕТАНА И ПЫЛИ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Тюленева Т.А.^{1,2,3} Кабанов Е.И.⁴

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

²Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Прокопьевске

³Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Междуреченске

⁴Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация.

Регламент промышленной безопасности преимущественно разрабатывается по результатам исследования уже произошедших случаев. Использование ретроспективного анализа не дает возможность принимать во внимание опасные факторы, не обнаруженные накопленным опытом, что имеет большое значение для безопасности условий труда, создаваемых в динамичной и подверженной совокупности специфических факторов производственной среде. Этот недостаток может быть устранен за счет принципов априорного анализа, принимающего во внимание потенциально возможные для данной системы риски и факторы их возникновения. Его выполнение состоит в проведении системного анализа угроз, оценке и прогнозировании их наступления в условиях риск-ориентированного подхода. Проблема изучения профессиональных рисков негативного воздействия на персонал опасных и вредных производственных факторов в результате аварий на угледобывающих предприятиях является областью совместного функционирования системы управления охраной труда и системы управления промышленной безопасностью. Для соответствия предъявляемым требованиям к анализу и прогнозированию профессиональных рисков травматизма при взрывах метана и пыли в условиях неопределенности исходных данных, существует потребность в методическом подходе на базе моделирования нечеткого логического вывода с иерархической структурой.

В данной статье описана методика, использование которой обеспечит выполнение предъявляемых требований в сфере комплексного анализа и прогнозирования профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли с обнаружением опасных ситуаций и участков, а также учесть результаты комплексного анализа и прогнозирования.



Информация о статье

Поступила:

24 мая 2021 г.

Рецензирование:

06 июня 2021 г.

Принята к печати:

23 июля 2021 г.

Ключевые слова:

подземные горные работы,
риск-ориентированный
подход, аварийность,
травматизм,
профессиональный риск,
промышленная безопасность,
охрана труда

Для цитирования: Тюленева, Т.А. Использование риск-ориентированного подхода в управлении профессиональными рисками взрыва метана и пыли на угледобывающем предприятии / Т.А. Тюленева, Е.И. Кабанов // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 2 (13). – С. 13-32. – DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-13-32

Введение

Добыча угля подземным способом всегда сочетается с комплексом вредных производственных факторов, влияние которых вызвано прежде всего трудными горно-геологическими условиями, применением высокопроизводительных машин и механизмов и значительной интенсивностью выполняемых работ по добыче и проходке. Также оценка



условий промышленной безопасности и охраны труда находится под воздействием качества принимаемых инженерно-технических решений, состоянием технологической дисциплины и уровнем профессиональной компетентности исполнителей [1, 2].

Важную роль в динамике аварийных случаев и случаев травматизма сыграла программа реструктуризации угольной отрасли в России, реализуемая в целях обеспечения финансовой устойчивости экономических субъектов в условиях рынка. Наряду с процессами приватизации, их реструктуризации сопутствовала ликвидация самых опасных, нерентабельных и бесперспективных угледобывающих предприятий [3].

Ликвидация угледобывающих предприятий, работающих в опасных условиях, оказала благоприятное воздействие на динамику аварийности и травматизма на производстве. Тем не менее в 2000-е годы произошел рост доли крупных промышленных катастроф [4, 5]. Перманентное проявление крупных аварий, сопровождающихся значительными человеческими потерями, указывает на недостаточно эффективную реализацию мероприятий по охране труда и потребность в более детальном исследовании опасных факторов производства, сопряженных с добычей угля подземным способом.

Применение традиционных методов обеспечения безопасности характеризуется разработкой регламентов организации работ угледобывающего предприятия. Но регулярный характер аварийных ситуаций и несчастных случаев указывает на потребность использования прогрессивных подходов к обеспечению промышленной безопасности и охраны труда сотрудников добывающей отрасли. Регламент промышленной безопасности преимущественно разрабатывается априори – по результатам исследования уже произошедших случаев и с учетом наихудшего вариант развития ситуации, и по своей природе являют требования и рекомендации по минимизации угроз аналогичных событий в перспективе. Использование ретроспективного анализа не дает возможность принимать во внимание опасные факторы, не обнаруженные накопленным опытом, что имеет большое значение для безопасности условий труда, создаваемых в динамичной и подверженной совокупности специфических факторов производственной среде.

Этот недостаток может быть устранен за счет принципов априорного анализа, принимающего во внимание потенциально возможные для данной системы риски и факторы их возникновения. Его выполнение состоит в проведении системного анализа угроз, оценке и прогнозировании их наступления в условиях риск-ориентированного подхода.

Постановка проблемы

Риск-ориентированный подход дает возможность обнаружить «узкие места» в системе обеспечения промышленной безопасности и охраны труда, не принятые во внимание действующими нормативными актами по причине апостериорности последних, а также осуществлять фиксацию угроз, связанных с вероятными отступлениями от требований безопасности. Использование риск-ориентированного подхода обеспечивает [6, 7]:

- обнаружение угроз, наступление которых вероятно в исследуемой системе;
- исследование вариантов развития событий, в результате которых наступают выявленные угрозы;
- обнаружение самых существенных событий и факторов, способствующих возникновению нежелательных событий;
- оценка степени тяжести последствий нежелательных событий;
- выработку проектов решений, базирующихся на результатах анализа и нацеленных на минимизацию выявленных угроз.

Риск-ориентированный подход продемонстрировал высокую эффективность в зарубежной практике анализа, на основании этого данное направление было оценено как актуальное в российской профессиональной практике. К предпосылкам внедрения риск-ориентированного подхода в систему охраны труда и промышленной безопасности относятся следующие события. Во-первых, закрепление понятия менеджмента профессиональных рисков в Концепции демографической политики РФ на период до 2025 года как деятельности по их



обнаружению, оценке и мониторингу для решения задач по снижению смертных случаев среди трудоспособного населения. Во-вторых, в Концепции совершенствования государственной политики в области обеспечения промышленной безопасности Правительство определило риск-ориентированный подход как основополагающий принцип [8].

В последние несколько лет принципы риск-ориентированного подхода закрепляются в законодательстве по охране труда и промышленной безопасности на опасных производственных объектах. В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», обязанностью экономических субъектов, использующих опасные производственные объекты I класса, является создание системы менеджмента промышленной безопасности для идентификации, оценки и прогнозирования угроз аварий, прогнозирования и реализации мероприятий по снижению вероятности аварий на этих объектах, оперативной корректировки мер по минимизации вероятности аварий. Потребность в использовании риск-ориентированного подхода для организации охраны труда на угледобывающих предприятиях отражена в действующих нормативных актах в области трудового права. Так, в Трудовом кодексе регламентирована обязанность работодателя по организации и внедрению системы управления охраной труда и профессиональными рисками и подразумевающей следующие действия в сфере менеджмента:

- идентификация угроз;
- оценка степени профессионального риска;
- минимизация профессионального риска.

Наряду с этим риск-ориентированный подход активно внедряется в систему государственного контроля (надзора) для выполнения систематического мониторинга соблюдения установленных стандартов на подведомственных объектах для предупреждения, обнаружения и пресечения нарушений [9]. Особую важность при этом имеет необходимость учета особой роли органов государственного контроля (надзора) при внедрении принципов риск-ориентированного подхода в систему охраны труда и промышленной безопасности, полномочия которых дают возможность интегрировать мониторинг соблюдения требований безопасности с позиций апостериорного подхода с оценкой и прогнозированием угроз в системе безопасности опасных производственных объектов с позиций априорного подхода.

В число предпосылок реализации риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности также входит осуществление государственной политики по уменьшению административных барьеров в предпринимательской сфере. С 2009 года прослеживается устойчивая тенденция к сокращению масштабов контрольных мероприятий Ростехнадзора в угледобывающей отрасли, сопровождающаяся значительным ростом общей суммы штрафных санкций в результате мер ответственности за нарушения [10, 11]. В сложившихся условиях особую важность приобретает концентрирование усилий контролирующих органов, не причиняющих ущерб системе безопасности.

В настоящее время контрольные полномочия органов Ростехнадзора диверсифицированы по уровням риска и масштаба возможных последствий его наступления. Созданные предпосылки обеспечивают применение риск-ориентированного подхода как альтернативу традиционному для формирования на угледобывающих предприятиях принципиально новой системы охраны труда и промышленной безопасности. В свою очередь, практическое использование риск-ориентированного подхода для снижения профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли состоит в оценке и прогнозировании профессионального риска с учетом особенностей исследуемого объекта, обусловленных влиянием на производственную систему комплекса факторов. Для количественного измерения профессиональных рисков при подземной добыче применяются методы комплексного анализа, с помощью которых оценивается совместное влияние факторов на создаваемые условия труда. При этом итоги исследования должны давать возможность прогнозирования возникновения опасных ситуаций по различным сценариям развития, а также причин реализации неблагоприятных факторов.



Для выбора методики оценки профессионального риска смертельного травматизма работников угледобывающего предприятия при взрывах метана и пыли выполнено исследование методической базы оценки рисков, по итогам которого выявлены области ее использования в зависимости от располагаемого массива информации статистического исследования и доступности данных для моделирования. Статистические методы оценки рисков дают возможность измерить взаимосвязь и функциональную зависимость факторов и показателей угроз, а также получить максимально объективные результаты с минимальным количеством допущений. Достаточно распространенными являются методы исследования риска аварий при добыче угля подземным способом, базирующиеся на ретроспективном статистическом анализе [12-15]. В частности, результаты корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализа оценивают воздействие конкретных факторов на риск, и эти возможности могут применяться для обоснования степени рискованности подземных работ по добыче угля. Но существующие условия информационной неопределенности из-за дефицита и неточности исходной информации, а также различия в методах их обработки затрудняют применение статистического анализа для выполнения комплексного исследования профессионального риска, так как для оценивания редких событий требуется использование вероятностных или экспертных приемов. Вероятностные методы базируются на применении инструментов математических имитационных моделей, включающих компоненты теорий вероятности, надежности и математической статистики и дают возможность моделирования достаточно редких событий, учитывающих взаимосвязь получаемых при оценке источников потенциальных опасностей показателей, а также исследуют факторы, недоступные статистическим методам оценки риска.

Таблица 1. Методические подходы к оценке рисков [16]
Table 1. Methodological approaches to risk assessment [16]

Методы	Задача исследования		
	Идентификация угроз	Оценка угроз	Прогноз наступления угрозы
Статистический	Мониторинг статистических предположений, оценка зависимости факторов и угроз на базе инструментария корреляционного, дисперсионного и факторного анализа	Статистический анализ, измерение зависимости факторов и угроз на базе инструментария регрессионного, анализа и множественной регрессии	Прогнозная оценка с применением временных рядов и нейросетевого анализа
Вероятностный	Оценка условий протекания процесса на базе инструментария феноменологического подхода, сценариев развития событий и детерминистического подхода	Вероятностный анализ на базе методов теории вероятности, теории графов и имитационного моделирования	Прогнозная оценка на базе методов теории вероятности, теории катастроф и имитационного моделирования
Экспертный	Экспертное изучение причин возникновения неблагоприятных событий	Экспертное изучение на базе инструментария матричных моделей и теории нечетких множеств	Прогнозная оценка на базе инструментария нечетких моделей



Рассчитанные показатели являют собой вероятностные оценки случайного явления, и это дает возможность измерить их посредством составления моделей с последующей обработкой информации на выходе [17]. Ограничения в применении вероятностных методов также вызваны с информационной неопределенностью, что обуславливает сложности в оценке данных при моделировании и выявлении закономерностей в случайных величинах. Также моделирование влияния факторов в комплексных геотехнических системах осуществляется с учетом разнообразных процессов, влияние которых сводится к возврату деформированной геологической среды к природному равновесному состоянию. Данное обстоятельство в совокупности с комплексным воздействием факторов ставит формализованные задачи высокого уровня сложности, в результате чего необходимость принимать их во внимание существенно увеличивает расходы на формирования сценариев их решения и уменьшает степени точности полученных результатов, что в конечном итоге приводит к нецелесообразности применения последних для целей комплексной оценки профессиональных рисков [18].

Таким образом, невзирая на более значительную объективность информации, полное количественное измерение не всегда возможно, а кроме того, не всегда и желательно по причине дефицита информации об анализируемой системе, неэффективности или недостаточной точности итогов [19]. В данных обстоятельствах широкую популярность на практике приобрели экспертные методы исследования – матричный и балльная оценка. Известны также методы исследования и ранжирования рисков взрывов метана и пыли на основе анализа матрицы рисков [20-23], однако сфера их применения не предполагает использование для комплексного анализа с высокой степенью детализации сценариев. Также в число методов балльной оценки рисков входят методы оценки индексов опасности на базе экспертных оценок [24-28], широко распространенные на российских угледобывающих предприятиях и использованные в действующем нормативном документе – методических рекомендациях по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах, базирующихся на оценке индексов опасностей аварий, рангов и весов, подвергнутых лингвистической классификации с оценкой влияния ранга каждого анализируемого фактора в баллах.

Указанный метод дает возможность ранжировать угледобывающие предприятия и обособленные участки системы подземных выработок по уровню опасности взрывов метана и пыли по совокупности результатов оценки неполного набора факторов. Исследование последних требуется выполнять с учетом выявленной взаимосвязи и оценки поражающего воздействия на персонал.

Проведенное исследование показало нерешенность проблемы методического обеспечения анализа и прогнозирования профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли, соответствующего принципам риск-ориентированного подхода, что делает актуальной задачу разработки метода, позволяющего:

- рассчитать и количественно оценить профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли с учетом особенностей угледобывающего предприятия;
- учесть совокупность различных по своей природе возникновения и влияния факторов профессионального риска в условиях неопределенности исходной информации;
- учесть совокупное влияние факторов на количественную оценку профессионального риска;
- проанализировать возможные сценарии и причин проявления неблагоприятных событий;
- прогнозировать опасные события, вызванные поражающими для персонала факторами взрывов;
- обеспечить информацией о результатах оценки и прогнозирования профессиональных рисков широкий круг пользователей.



Материалы и методы исследования

Данная задача может быть решена с применением способов логико-графического исследования с элементами теории нечетких множеств и нечеткой логики с целью осуществления математических расчетов количественной оценки профессионального риска. Данные методы сведены к детальному исследованию вероятности развития различных сценариев и влияния отдельных факторов и результатов наступления изучаемых событий. Зарубежными и российскими исследователями широко используются инструменты логико-графического анализа профессиональных рисков на угледобывающих предприятиях на базе иерархии дерева отказов (FTA), дерева событий (ETA) и схемы «галстук-бабочка» (BTA) [29, 30].

Методики исследования, базирующиеся на теории нечетких множеств и нечеткой логики, представляют собой альтернативу вероятностным и статистическим инструментам анализа [31], отличающиеся высокой степенью адаптивности для возможности агрегирования неоднородных данных и применения для решения задач менеджмента и прогнозирования параметров комплексных систем [31]. Кроме этого, применение лингвистических параметров для изучения исходных показателей дает возможность фиксировать неопределенность и применять параметрические показатели сопоставимого вида. Зарубежные исследователи широко используют нечеткие модели в анализе и прогнозировании профессиональных рисков, обусловленных добычей угля подземным способом [32-35], с обоснованием актуальности применения теории нечетких множеств и нечеткой логики при исследовании взрывов метана и пыли.

Таким образом, для соответствия предъявляемым требованиям к анализу и прогнозированию профессиональных рисков травматизма при взрывах метана и пыли в условиях неопределенности исходных данных, существует потребность в методическом подходе на базе моделирования нечеткого логического вывода с иерархической структурой. Для создания такой модели прежде всего необходимо выполнение системного исследования профессионального риска для формирования комплекса разнородных по своей природе и разнонаправленных причинам возникновения факторов, установления по итогам статистического анализа, экспертного исследования и математического моделирования структурных связей между ними.

Использование принципов риск-ориентированного подхода имеет большое практическое значение при прогнозировании индивидуального риска влияния опасных производственных факторов в специфических условиях деятельности угледобывающего предприятия, что реализуется посредством ретроспективного анализа информации с последующей регрессионной оценкой для обнаружения его функциональной зависимости от условий эксплуатации залежи угля. Результаты применения получаемых регрессионных моделей содержат прогнозные данные в форме математического ожидания величины индивидуального риска и могут применяться для его количественного измерения и обнаружения угледобывающих предприятий, деятельность которых сопряжена с высоким уровнем профессионального риска, с их последующим ранжированием.

Для исследования индивидуального риска травматизма выполнен анализ актов производственного расследования причин результате взрывов, вспышек и возмнений метана за 12 лет на 98 угледобывающих предприятиях [38] с учетом их следующих параметров: количество отмеченных взрывов метана, среднесписочная численность персонала, численность смертельно травмированного персонала, относительная и абсолютная газообильность, глубина разработки месторождения, суточная добыча в натуральном выражении, система разработки, способ и схема вентиляции, степень опасность угольного пласта по самовозгоранию, взрывчатости пыли, период работы угледобывающего предприятия в анализируемом году, – а также параметров риска: среднегодовые количества взрывов метана наблюдаемого индивидуального риска смертельного травматизма от каждого из них. По результатам проведенного исследования выявлено, что применение методов статистического анализа профессионального риска травматизма ограничивается неопределенностью исходной



информации. В частности, относительно низкие величины коэффициента детерминации модели свидетельствуют о значительности воздействия неучтенных факторов, и для их обнаружения требуется пополнение базы данных статистического наблюдения за случаями аварий и травмирования, учитывающими факторы риска. В ситуации информационной неопределенности для изучения неучтенных факторов существует потребность применения результатов математического моделирования и экспертных оценок. При этом практический интерес представляет задача количественной оценки факторов, определяющих интенсивность выделения метана в подземные выработки и диаметр зоны поражения взрывами метанопылевоздушной смеси.

Основные источники метановыделения в горные выработки заключены в угольных пластах с естественной концентрацией метана, характеризующейся природной метаноносностью, зависящей, в свою очередь, от степени метаморфизма, сорбционной способности, пористости, трещиноватости, газопроницаемости, а также угла наклона и глубины залегания. Метан в угольных пластах может находиться как в свободном, так и в связанном – адсорбированном, абсорбированном и растворенном – состоянии. Основной же объем метана угольных пластов (до 90 %) находится в адсорбированном и абсорбированном состоянии во внутренней поверхности в большом количестве микропор, занимающих значительные площади с близким расположением молекул метана в них. В системе взаимосвязанных макропор и трещин распределено до 15 % метана, и остальная доля растворена в грунтовых водах. [37, 38]. В этой связи объем метана, выделяемого из угольного пласта при его разработке, зависит от скорости подвигания забоя: так, при быстрых темпах продвижения изменяются геомеханические процессы в недрах, а также возрастает уровень газоотдачи с обнажившейся поверхности пласта [39] с увеличением абсолютного метановыделения в призабойные участки лавы и снижением относительного показателя в очистных выработках.

По причине неоднородных геолого-генетических условий накопления торфа и образования угля, в массиве горных пород могут образовываться локальные очаги с аномально высоким горным давлением и повышенной газоносностью угольных пластов и пород, а их вскрытие может вызывать суффлярные выделения с интенсивностью до 8500 м³/сут [40], что вызывает потребность в учете опасности пластов по данному фактору при выполнении оценок и прогнозировании риска загазованности выработок [40]. Вскрытие участков с аномально высокими показателями пластового давления, сопровождающегося прогрессирующими геологическими деформациями газообильных угольных пачек и сниженной прочностью добываемого ископаемого, может сопровождаться стремительной трансформацией напряженности краевой части угольного пласта, внезапными выбросами угля, породы и газа в подготовительную или очистную выработку. При этом угроза выбросов прямо пропорциональна степени сложности тектонического строения шахтного поля и развитию пликтивных и дизъюнктивных деформаций [41]. С внезапными выбросами стремительно прогрессируют разрушения массива горных пород с их выбросами и газовыделением и могут привести к загазованности выработок и, как следствие, взрыву метана [42].

В горном массиве в месте непосредственного расположения очистной выработки и прилегающих к ней областях, располагающихся над и под выработанным пространством, перераспределение горного давления сопровождается формированием деформационных участков, в опустошенных зонах же развивается трещиноватость и образуются открытопористые структуры с протяженными каналами газовой выделения, что обуславливает рост газопроницаемости и распределение свободного метана в пустые пространства из невынимаемых пачек угля, пород и пластов [43].

Как результат образования утечек происходит вынос накопленного метана через выработанное пространство, конфигурация фильтрационных потоков в котором и интенсивность метановыделений в выработки во многом определяются используемой схемой проветривания [40] (Рис. 1). То есть до 80 % объема поступающего метана выделяется через выработанное пространство, в том числе из подработанных угольных пластов – до 50 %, из



надработанных угольных пластов – до 20 %, и остальные 10 % поступают из вмещающих пород [40].

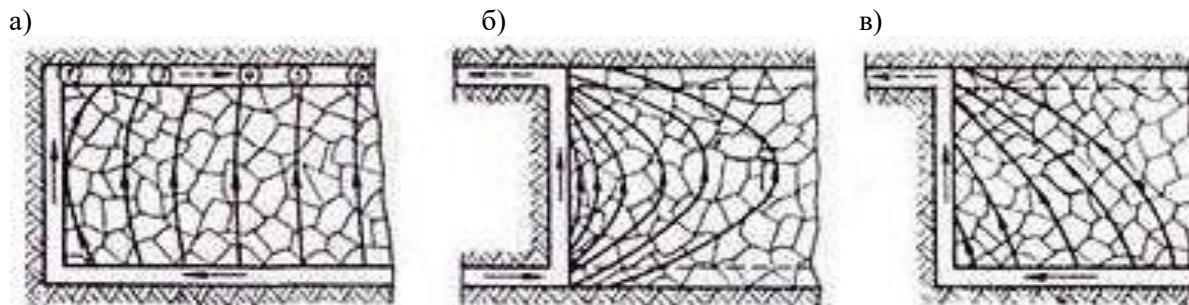


Рис. 1. Линии газопотока в выработанное пространство при утечках метана (а – сплошная система разработки, б – столбовая система разработки, в – прямоточная система разработки) [43]

Fig. 1. Lines of gas flow into the goaf in case of methane leaks (a - continuous development system, b - pillar development system, c - direct-flow development system) [43]

Таким образом, изучение математической модели прогнозирования метанообильности горных выработок дало возможность установить воздействие факторов на интенсивность метановыделений в очистные и подготовительные выработки, а именно: природная метаноносность, мощность разрабатываемого пласта, скорость продвижения забоя, природная метаноносность, мощность и расположение пласта-спутника, уровень их дегазации. Выявление количественных взаимосвязей данных факторов даст возможность прогнозировать метанообильность выработок при оценке вероятности поражающего влияния взрывов, а также выполнить комплексную оценку и предсказать профессиональный риск травматизма при взрывах метана и пыли.

Результаты исследования и их обсуждение

Случаи травматизма на угледобывающих предприятиях при взрывах метана и пыли возникают при реализации условий их возникновения последующего влияния опасных факторов, поэтому уровень профессионального риска травматизма должен определяться с учетом результатов оценки вероятности их поражающего действия. В соответствии с классификацией опасных производственных факторов взрывов метана и пыли в горных выработках угольных шахт [40], к ним относятся, во-первых, факторы физического воздействия на организм – ударная воздушная волна и тепловое излучение при горении и воспламенении, и, во-вторых, факторы химического воздействия – газообразные токсичные соединения, образующиеся в процессе горения. По результатам изучения групповых несчастных случаев [44] на угледобывающих Кемеровской области за 15 смежных лет выявлено распределение смертельного травмирования от опасных факторов взрывов метана и пыли (Табл. 2).

Представленные в таблице показатели свидетельствуют, что наибольшее число случаев смертельного травматизма обусловлено влиянием ударов воздушной волны при взрыве, что позволило поставить данный фактор в качестве основного исследуемого фактора, определяющего размер ущерба при анализе и прогнозировании профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли. Для реализации целей системы менеджмента охраны труда по минимизации профессиональных рисков и обеспечении безопасности работ, приоритеты в решении задач по управлению рисками определяются в зависимости от штатных условий отклонений от них в связи с аварийными ситуациями. В частности, опасности возникновения аварий на угледобывающих предприятиях внесены в перечень рисков угрозы жизни и здоровью людей и подлежат изучению в целях количественного измерения уровней



профессиональных рисков. Также устанавливаются требования к реальной или потенциальной производственной среде при осуществлении оценки профессиональных рисков, по итогам которой прогнозируют риски возможных аварий в системе управления промышленной безопасностью. Таким образом, задачей исследования профессиональных рисков травматизма при влиянии опасных производственных факторов – взрывов метана и пыли, является обеспечение взаимосвязанности функционирования системы управления охраной труда и системы управления промышленной безопасностью [45], представленной на рис.2. Кроме того, требования к единообразию принципов обеспечения безопасности горных работ и надзора за выполнением требований промышленной безопасности и охраны труда на угледобывающих предприятиях регламентируются Типовым положением о системе управления промышленной безопасностью и охраной труда.

Таблица 2. Влияние поражающих факторов взрывов метана и пыли [44]
Table 2. Influence of damaging factors of methane and dust explosions [44]

Характер поражения	Причина возникновения	Влияние опасного фактора, %	Причина смерти, %
Комплексные травмы в виде различного рода повреждений частей тела, черепно-мозговых травм и переломов	Динамическое действие ударной волны	62	53
Отравления токсичными газообразными соединениями	Влияние токсических соединений, образующихся при горении, термическом распаде и взрыве	47	46
Ожоги различных степеней	Действие высоких температур	28	1

Решение задачи анализа и прогнозирования профессионального риска травматизма на угледобывающих предприятиях при взрывах метана и пыли в условиях функционирования системы управления промышленной безопасностью и охраной труда предусматривает учет результатов изучения рисков аварий при взрывах метана и пыли и применение методик, базирующихся на разработке модели нечеткого логического вывода.

Для соблюдения требований к обнаружению потенциально опасных участков поражающего влияния ударных волн взрывов метана и пыли, участки системы подземных горных выработок дифференцируются по итогам сравнения ранжированных множеств величин факторов риска и защиты. Данное действие позволяет выявить совокупность первоочередных задач минимизации профессионального риска посредством точечного воздействия на преобладающие факторы риска.

Последовательность реализации методики комплексного анализа и прогнозирования профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли предполагает прохождение следующих этапов [45].

Во-первых, сбор исходной и структурирование информации о совокупности из числа n факторов в различных участках системы горных выработок, в состав которой включаются:

- оценка горно-геологических и горнотехнических факторов, характеризующих величину потенциальных угроз на основании с фактических данных, полученных в деятельности угледобывающего предприятия (из них методами измерения *in situ* и получения в процессе лабораторных исследований);
- оценка организационных факторов, отражающих степень выполнения правил безопасности и выявляемых в ходе контрольных мероприятий состояния обеспечения безопасности;
- оценка субъективных факторов, отражающих степень трудовой дисциплины и измеряемых методами или по итогам экспертной оценки.



При прогнозировании профессионального риска для проектов горных выработок и их участков возможна оценка исходной информации по результатам изучения проектных документов и данных геологической разведки.

Во-вторых, изучение сформированного массива информации и классифицирование системы горных выработок и их участков в зависимости от результатов контрольных мероприятий по критерию отличия ранжированных множеств данных.



Рис. 2. Область совместного функционирования системы управления охраной труда и системы управления промышленной безопасностью угледобывающего предприятия [45]

Fig. 2. The area of joint functioning of the labor protection management system and the industrial safety management system of a coal mining enterprise [45]

В-третьих, отбор горной выработки или ее участка, изучение упорядоченного множества данных с применением модели нечеткого логического вывода, основывающейся на циклическом повторении алгоритма согласно сформированной базе показателей и получение выходных показателей:

- количественная оценка риска первичного взрыва метанопылевоздушной смеси в горной выработке или ее участке;
- количественная оценка риска вторичного взрыва пылевоздушной смеси;
- количественная оценка риска травматизма от давления ударной волны при первичном и вторичном взрывах в горной выработке или ее участке;
- количественная оценка переменных p для анализа вероятных сценариев и факторов возникновения опасных событий.

Третья стадия циклически повторяется для остальных горных выработок и / или их участков.

В-четвертых, оценка показателей профессионального риска для горных выработок или их участков на основе их сопоставления с нормативами допустимого риска, определенными в ходе экспертного исследования.



В-пятых, выявление количества горных выработок или их участков, которые расположены в радиусе поражающего действия ударной воздушной волны взрыва, значения профессионального риска которых превалируют над допустимыми.

В-шестых, количественная оценка внутренних переменных для горных выработок или их участков по уровням иерархии и преобладающего по вероятности развития сценария неблагоприятных событий в результате поражающего влияния взрыва метанопылевоздушной волны.

В-седьмых, исследование сценария развития неблагоприятного события для горной выработки или ее участка и изучение основных факторов его возникновения.

Применение этой методики обеспечит возможность изучения и прогнозирования профессионального риска травматизма при взрывах метанопылевоздушной смеси, в процессе которых принимаются во внимание и исследуются взаимосвязанные факторы риска и защиты, прогнозируются опасные ситуации, вызванные поражающим влиянием ударной волны метана и пыли. Итоги изучения преобладающих сценариев развития неблагоприятных событий дадут возможность определить перечень основных причин травматизма, важных для оперативной реализации предупредительных мероприятий против травматизма. Таким образом, применение методики необходимо для внедрения риск-ориентированного подхода, должного уровня информационного обеспечения, обеспечивает соблюдение требований к анализу и прогнозированию профессиональных рисков и их регламентацию [46] с соблюдением точечного и индивидуального подхода к отбору и применению мер по повышению безопасности труда персонала угледобывающего предприятия.

Повышение безопасности труда на основе совершенствования организации системы управления профессиональными рисками

Задача обеспечения безопасности работ на угледобывающих предприятиях должна решаться в условиях координации усилий в сфере менеджмента профессиональных рисков. Для ее успешного решения необходимо внедрить систему управления профессиональными рисками в стратегию и практику их работы для сохранения жизни и здоровья персонала. В данных условиях высокие значения показателей эффективности системы управления профессиональными рисками могут быть получены, если данная система будет реализована на практике на всех уровнях иерархии менеджмента и стадиях жизненного цикла.

Процесс управления профессиональными рисками состоит из следующих этапов [26].

Во-первых, обмен данными и консультирование для получения полной информации о наличии профессиональных рисков для принятия решений.

Во-вторых, определение контекста для конкретизации целей управления профессиональными рисками, ее направленности, критериев и состава угроз, а так же внешних и внутренних факторов, важных в процессе управления.

В-третьих, анализ профессиональных рисков, состоящий из следующих процессов:

- идентификация, под которым понимается выявление, фиксация и характеристика профессиональных рисков, воздействующих на достижение целей и задач по обеспечению сохранности жизни и здоровья персонала;
- анализ – исследование идентифицированных профессиональных рисков, их причин, последствий и специфики происходящих событий;
- сравнительная оценка – исследование профессиональных рисков с последующим сопоставлением полученных результатов с установленными нормами в целях принятия решений для обработки и приоритетности ее практической реализации;
- воздействие – циклически повторяющийся процесс отбора и модификации риска с последующей оценкой уровня его приемлемости;
- мониторинг и переосмысление профессиональных рисков для оценки изменений внешних и внутренних контекстов проекта, получения новых сведений, необходимых для совершенствования оценки и эффективности обработки риска.



Таблица 3. Исследование возможности применения методики комплексного анализа и прогнозирования профессионального риска при создании системы управления профессиональными рисками на угледобывающем предприятии

Table 3. Investigation of the possibility of applying the method of complex analysis and forecasting of professional risk when creating a professional risk management system at a coal mining enterprise

Принципы повышения эффективности системы управления профессиональными рисками	Возможности применения комплексного подхода к исследованию
Обеспечение доказательств реализации заявленных целей, повышение эффективности производственного процесса	Отбор и внедрение комплекса организационно-технических мероприятий по достижению целей в сфере охраны труда с учетом результатов исследования профессиональных рисков
Обеспечение возможности постоянного совершенствования организации и управления рисками за счет реализации разработанных стратегий	
Внедрение в организационные процессы, связанные с проектом, на всех уровнях и этапах его жизненного цикла	Анализ профессиональных рисков на основе универсального подхода к организационным процессам, реализуемым на различных уровнях управления и этапах жизненного цикла для обеспечения безопасности труда
Информационная поддержка принятия решений на каждом этапе жизненного цикла проекта, фиксации имеющихся рисков и идентификации приоритетных и альтернативных мер	
Обеспечение возможности оценки, фиксации и минимизации неопределенностей	Минимизация информационной неопределенности за счет экспертного анализа сложноформализуемых зависимостей и представление результатов исследования в виде нечетких множеств, используемых в целях моделирования степени неопределенности в структуре нечетких чисел
Обеспечение применения актуальных и надежных решений по проекту, повышение эффективности управления проектом за счет использования систематизированного и оперативного подхода к управлению рисками и формирования их эффективной инфраструктуры	Обеспечение применения процессного подхода в менеджменте, базирующегося на систематическом анализе профессиональных рисков и постоянном совершенствовании моделей расчета количественных показателей риска, нацеленного на обнаружение и регистрацию факторов и их взаимосвязей
Обеспечение подвижности к изменениям для возможности идентификации новых и пересмотру ранее обнаруженных рисков с целью оперативной реакции на угрозы в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды	
Фиксация наиболее достоверных и доступных данных в системе управления рисками – технической оценки, испытаний, наблюдений, экспертных оценок	Параллельное применение результатов статистических, вероятностных и экспертных оценок при комплексном анализе профессиональных рисков, а также коллективных экспертных оценок для минимизации субъективности итогов
Обеспечение необходимого уровня оперативности участия заинтересованных лиц на всех уровнях иерархии для комплексного учета мнений, повышения эффективности и актуальности управления рисками	
Идентификация проектных особенностей, степени неопределенности и сложности осуществляемых операций	Регистрация комплекса факторов профессиональных рисков с возможностью моделирования информационной неопределенности в условиях экспертных оценок
Оценка влияния субъективных факторов на достижение целей проекта и эффективность процессов управления рисками	



По результатам исследования возможности практической реализации системы управления профессиональными рисками на угледобывающих предприятиях можно сделать вывод о том, что наибольшие трудности при этом возникают на этапе оценки – основополагающем при их анализе и планировании мероприятий по минимизации. Описанная методика дает возможность устранить эти затруднения в ходе комплексного анализа профессиональных рисков, а ее универсальный характер – адаптировать его к задачам изучения рисков причинения вреда жизни и здоровью в результате влияния вредных и опасных производственных факторов деятельности угледобывающего предприятия.

Для исследования возможности применения данной методики в управлении профессиональными рисками выполнена оценка принципов повышения эффективности данной системы, результаты которого представлены в табл. 3 [45, 46].

Представленные в таблице данные указывают на возможность применения описанной методики в качестве инструмента анализа и прогнозирования рисков с целью получения данных, являющихся основой для разработки эффективных управленческих решений по сохранению жизни и здоровья персонала. Потенциальные возможности для развития системы управления профессиональными рисками подтверждены принципом постоянного и систематического пополнения базы знаний, что имеет большое значение в исследовании динамично изменяющейся производственной среды угледобывающих предприятий и обеспечивает выполнение требования нормативных актов к совершенствованию процедур оценки рисков.

Таким образом, описанная методика может быть применима для организации непрерывного процесса идентификации риска по следующим процедурам: плановая проверка при изменении горно-геологических и горнотехнических условий и технологии производства горных работ; внеплановая проверка при замене технологического оборудования для выполнения горных работ, использовании услуг подрядчиков на угледобывающем предприятии; периодический отчет подразделения промышленной безопасности и охраны труда об идентификации, оценке и управлению рисками для управляющего органа.

Систематический подход к практической реализации процесса анализа и управления профессиональными рисками позволяет подготовить основу для перехода к процессному подходу, который является более эффективным и целесообразным, так как природа профессиональных рисков обуславливает их подверженность организационным факторам в результате принятия управленческих решений на различных уровнях.

Поэтому управление профессиональными рисками следует изучать как кросс-функциональный процесс, для оптимизации которого необходимо делегировать контрольные функции и функции риск-менеджмента и закрепить наиболее эффективные процедуры коммуникаций участников данных процессов, с использованием оценки эффективности мер по обеспечению безопасных условий труда как основного критерия эффективности управления, что обеспечит создание механизма мотивации постоянного улучшения системы управления профессиональными рисками.

Кроме того, кросс-функциональный процесс управления профессиональными рисками будет способствовать интеграции системы управления профессиональными рисками в общую структуру управления угледобывающего предприятия.

Использование процессного подхода в управлении профессиональными рисками продемонстрировало высокую степень эффективности на шахтах Австралии, США и европейских государств [46], в которых созданы рабочие группы, включающие представителей различных структур компании. В их компетенцию входит аналитическая деятельность и работы по оценке профессиональных рисков с оказанием работодателю консалтинговых услуг в сфере проектирования и реализации управленческих решений по риск-менеджменту.

Описанная методика также является основой повышения эффективности анализа профессиональных рисков посредством формирования систем динамической оценки для автоматизации решения задачи исследования факторов риска и защиты в информационно-измерительных системах дистанционного контроля. Угледобывающие предприятия решают



задачу оперативной оценки профессиональных рисков и информационного обеспечения принятия управленческих решений путем формирования динамической модели непрерывного дистанционного мониторинга с применением многофункциональных средств безопасности. Применяемая в ней экспертная система на базе моделей нечеткой логики удовлетворяет принципам комплексного анализа информации разнообразных измерительных систем и может использоваться для решения алгоритмических задач [45] динамического анализа профессиональных рисков в многофункциональных системах безопасности, и ее практический результат состоит в оперативном формировании комплексной оценки профессиональных рисков, фиксации отклонений показателей протекания технологических процессов от нормативов и обнаружении предпосылок опасных ситуаций. В свою очередь, это обеспечит оперативность реагирования на возникающие угрозы жизни и здоровью персонала в нестандартных условиях работы угледобывающего предприятия [45].

Таким образом, подтверждено соответствие описанной методики принципам риск-ориентированного подхода, что делает возможным ее применение для формирования прогрессивной системы обеспечения безопасности труда персонала угледобывающего предприятия, нацеленной на систематическое изучение профессиональных рисков и предупреждение инцидентов на производстве. Использование методики комплексного анализа прогнозирования профессионального риска позволяет осуществить методическое обеспечение создания системы управления профессиональными рисками угледобывающего предприятия и имеет значительный потенциал формирования механизма априорного исследования его производственной деятельности.

Выводы

Проблема изучения профессиональных рисков негативного воздействия на персонал опасных и вредных производственных факторов в результате аварий на угледобывающих предприятиях является областью совместного функционирования системы управления охраной труда и системы управления промышленной безопасностью. Для ее решения описана методика, использование которой обеспечит выполнение предъявляемых требований в сфере комплексного анализа и прогнозирования профессионального риска травматизма при взрывах метана и пыли с обнаружением опасных ситуаций и участков, а также учесть результаты комплексного анализа и прогнозирования.

Список источников

1. Форсюк, А.А. Состояние промышленной безопасности на угольных шахтах РФ / А.А. Форсюк, С.С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 12. – С. 23-26..
2. Вопросы совершенствования производственного контроля угледобывающих предприятий с подземным способом добычи / Гвоздкова Т.Н., Гвоздкова И.Д., Тюленева Т.А., Усова Е.О. // Уголь. 2020. № 9 (1134). С. 4.
3. Килимник, В.Г. Основные результаты реструктуризации угольной отрасли России / В.Г. Килимник // Горная промышленность. – 2003. – № 1. – С. 2-6.
4. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings / Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. // Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan). 2021. Т. 24. № 1. С. 105.
5. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources / Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. // E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. 2019. С. 01019.
6. Попов, А.Н. Риск-ориентированный подход в промышленной безопасности / А.Н. Попов, Н.С. Ивашова, А.А. Дулин и др. // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. – 2015. – № 2 (99). – С. 20-22.
7. Рыков, А.М. Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности угольных шахт / А.М. Рыков, Ли Хи Ун, Ю.М. Филатов // Научно-технический журнал «Вестник». – 2016 – № 1. – С. 73-76.



8. Давыдов, А.В. Анализ существующих методов и выбор критериев базовой оценки рисков в области охраны труда в условиях горных предприятий / А.В. Давыдов, А.М. Голышев, Е.В. Пищикова // Вестник Криворожского национального университета. – 2012. – № 3 (32). – С. 58-63.
9. Использование теорий надежности и приемлемого риска в оценке последствий антропогенных воздействий на окружающую среду / Кучерова Е.В., Круковская Т.А. // : Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы VII Международной научно-практической конференции. 2007. С. 193-195.
10. Тюленева, Т.А. Цифровизация горнодобывающей промышленности региона: проблемы и перспективы // Вестник Сургутского государственного университета. 2020. – № 4 (30). – С. 25-33.
11. Tyuleneva T. Problems and prospects of regional mining industry digitalization // E3S Web of Conferences, 2020. – Vol. 174. – P. 04019.
12. Стась, Г.В. Оценка риска возникновения аварий при добыче бурых углей / Г.В. Стась, Л.Э. Шейнкман, Е.В. Смирнова // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2015. – Вып. 3. – С. 31-41.
13. Kissell, F.N. Methods for Controlling Explosion Risk at Coal Mine Working Faces / F.N. Kissell, J.C. Tien, E.D. Thimons // Proceedings of the International Conference of Safety in Mines Research Institutes. – 2007. – Vol. 32. – P. 161-168.
14. Komljenovic, D. Injuries in U.S. Mining Operations – A Preliminary Risk Analysis / D. Komljenovic, W.A. Groves, V.J. Kecojevic // Safety Science. – 2008. – № 46 – P. 792-801.
15. Sari, M. Risk Assessment Approach on Underground Coal Mine Safety Analysis / M. Sari. – Ankara: Middle East Technical University, 2002. – 210 p.
16. Воробьева, О.В. Влияние человеческого фактора на риск аварий и травм в системе производственного контроля состояния промышленной безопасности на угледобывающих предприятиях / О.В. Воробьева, А.А. Сальников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 111-119.
17. Кононюк, А.Е. Обобщенная теория моделирования. Начала. К.1. Ч.3. / А.Е. Кононюк. – Киев: Освіта України, 2012. – 568 с.
18. Tripathy, D.P. Risk Assessment in Underground Coalmines Using Fuzzy Logic in the Presence of Uncertainty / D.P. Tripathy, C.K. Ala // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. – 2018. – Vol. 99. – P. 157-163.
19. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409-01) // Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: сборник документов. Сер. 27. Вып. 2 / Кол. авт. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2010. – 208 с.
20. Баскаков, В.П. Оценка рисков аварий, инцидентов и несчастных случаев. Планы управления безопасностью труда / В.П. Баскаков, В.И. Ефимов, Г.И. Сенаторов // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2011. – Вып. 1. – С. 22-35.
21. Кабанов, Е.И. Разработка модели экспертной системы на основе нечеткой логики для проведения оценки риска взрывов метана и пыли на угольных шахтах / Е.И. Кабанов, Г.И. Коршунов, Л.В. Пихконен, В.А. Родионов // Международная горноспасательная конференция «IMRB – 2017», Новокузнецк, 4-7 сентября 2017.: Сборник тезисов. – Новокузнецк, – 2017. – С. 64-65.
22. Grayson, R.L. Pilot Sample Risk Analysis for Underground Coal Mine Fires and Explosions Using MSHA Citation Data / R.L. Grayson, H. Kinilakodi, V. Kecojevic // Safety Science. – 2009. – № 47. – P. 1371-1378.
23. Nguyen, T.H. The Risk Management System in German Hard Coal Companies and the Transference to Southeast Asia: genehmigte Dissertation / T.H. Nguyen. – Aachen: Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2013. – 197 p.
24. Аношина, И.М. Расчет техногенного риска аварий на угольных шахтах / И.М. Аношина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № – С. 130-138.
25. Баловцев, С.В. Управление производственными рисками на угольных шахтах на основе ранжирования требований безопасности / С.В. Баловцев, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12. – С. 15-20.
26. Мазикин, В.П. Методология и опыт управления газовой выделением на шахтах в условиях технического и технологического перевооружения / В.П. Мазикин. – М.: Изд-во. МГГУ, 2001. – 104 с.
27. Скопинцева, О.В. Показатели аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт / О.В. Скопинцева, С.В. Баловцев, В.Н. Михайлова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 5. – С. 229-234.
28. Krause, E. Methane Risk Assessment in Underground Mines by Means of a Survey by the Panel of Experts (SOPE) / E. Krause, K. Krzemien // Journal of Sustainable Mining. – 2014 – № 13(2). – P. 6-13.
29. Бабенко, А.Г. Количественное оценивание текущего риска эксплуатации угольной шахты / А.Г. Бабенко // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 24-35.



30. Павленко, М.В. Оценка риска воспламенения метано-воздушной смеси в зонах подверженных комплексному воздействию на угольный массив / М.В. Павленко, Ю.Ф. Васючков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 266-272.
31. Осташев, В.В. Применение нечеткой логики при анализе и синтезе сложных систем / В.В. Осташев // Вестник ПГПУ. Серия: Естественные и физико-математические науки. – 2007. – № 2. – С. 74-78.
32. Iphar, M. Fuzzy Risk Assessment for Mechanized Underground Coal Mines in Turkey / M. Iphar, A.K. Cukurluo // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2018. – № 3. - P. 110-158.
33. Shariati, S. Underground Mine Risk Assessment by Using FMEA in the Presence of Uncertainty / S. Shariati // Decision Science Letters. – 2014. – № 3. – P. 295-304.
34. Kumar, R Mines Systems Safety Improvement Using an Integrated Event Tree and Fault Tree Analysis / R. Kumar, A.K. Ghosh // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. – 2017. – Vol. 98. – P. 101-108.
35. Qifeng, N. Research and Application of Safety Assessment Method of Gas Explosion Accident in Coal Mine Based on GRA-ANP-FCE / N. Qifeng, S. Shiliang, L. Runqiu // Procedia Engineering. – 2012. – № 45. – P. 106-111.
36. Кабанов, Е.И. Оценка риска взрывов метана на угольных шахтах России / Е.И. Кабанов // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования», Санкт-Петербург, 19-21 апреля 2017 г.: Сборник научных трудов. Часть II / Санкт-Петербургский горный университет. – СПб., – 2017. – С. 31.
37. Айруни, А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / А.Т. Айруни. – М.: Недра, 1981. – 335 с.
38. Гончаров, Е.В. Геодинамические методы оценки распределения метана на каменноугольных месторождениях и мероприятия по интенсификации метанопритоков при скважинных методах дегазации / Е.В. Гончаров, С.В. Цирель // Записки Горного института. – 2016. – Т. 222. – С. 803-808.
39. Шевченко, Л.А. Газовыделение из отбитого угля при интенсивной отработке угольных пластов / Л.А. Шевченко, С.Н. Ливинская // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 1(107). – С. 164-167.
40. Пучков, Л.А. Динамика метана в выработанных пространствах угольных шахт / Л.А. Пучков, Н.О. Каледина. – М.: МСМУ, 1995. – 313 с.
41. Большинский, М.И. Газодинамические явления в шахтах / М.И. Большинский, Б.А. Лысиков, А.А. Каплюхин. – Севастополь: Вебер, 2003. – 284 с.
42. Iannacchione, A. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry / A. Iannacchione, F. Varley, T. Brady. – Spokane: National Institute for Occupational Safety and Health, 2008. – 132 p.
43. Абрамов, Ф.А. Аэрогазодинамика выемочного участка / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский, Г.А. Шевелев. – Киев: Наукова думка, 1972. – 236 с.
44. Уварова, В.А. О причинах отравлений при крупных авариях на угольных шахтах / В.А. Уварова // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 6 (46). – С. 1-7.
45. Кабанов, Е.И. Использование модели нечеткого вывода при организации менеджмента профессиональных рисков на угольных шахтах / Е.И. Кабанов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 6-1(21). – С. 400-402.
46. Kirsch, P.A. Could RiskGate Be Applied to Industry Scale Knowledge Management in European Mining? / P.A. Kirsch // Proceedings of the International Conference of Safety in Mines Research Institutes. – 2013. – Vol. 35. – P. 2-10.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Тюленева Татьяна Александровна, канд. экон. наук, доцент
e-mail: krukta@mail.ru



Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Российская Федерация,
г. Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28
Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Прокопьевске
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, г. Прокопьевск, 653049, ул. Ноградская, 19а
Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Междуреченске
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, г. Междуреченск, 652881, пр. Строителей, 36

Кабанов Евгений Игоревич, ассистент
e-mail: kabanov_ei@pers.spmi.ru

Санкт-Петербургский горный университет, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 199106,
линия 21-я В.О., дом 2

THE USE OF A RISK-BASED APPROACH IN THE MANAGEMENT OF PROFESSIONAL RISKS OF METHANE AND DUST EXPLOSION ON COAL MINING ENTERPRISE

Tatyana A. Tyuleneva^{1,2,3} Evgeny I. Kabanov⁴

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in Prokopyevsk

³Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in Mezhdurechensk

⁴Saint-Petersburg Mining University

Article info



Received:
24 May 2021

Revised:
06 June 2021

Accepted:
23 July 2021

Keywords: underground mining, risk-based approach, accident rate, injuries, occupational risk, industrial safety, labor protection

Abstract.

The industrial safety regulations are mainly developed based on the results of a study of cases that have already occurred. The use of retrospective analysis makes it impossible to take into account dangerous factors that are not detected by the accumulated experience, which is of great importance for the safety of working conditions created in a dynamic and subject to a set of specific factors in the production environment. This disadvantage can be eliminated by the principles of a priori analysis, which takes into account the potential risks for this system and the factors of their occurrence. Its implementation consists in conducting a systematic analysis of threats, assessing and predicting their occurrence in the context of a risk-based approach. The problem of studying the occupational risks of the negative impact of hazardous and harmful production factors on personnel as a result of accidents at coal mining enterprises is the area of joint functioning of the occupational health and safety management system and the industrial safety management system. In order to meet the requirements for the analysis and forecasting of occupational injury risks in methane and dust explosions under conditions of uncertainty of the initial data, there is a need for a methodological approach based on the modeling of fuzzy logical inference with a hierarchical structure.

This article describes a methodology that will ensure the implementation of the requirements in the field of complex analysis and forecasting of occupational injury risk in methane and dust explosions with the detection of dangerous situations and areas, as well as take into account the results of complex analysis and forecasting.

Для цитирования: Tyuleneva T.A., Kabanov E.I. (2021) The use of a risk-based approach in the management of professional risks of methane and dust explosion on coal mining enterprise, Journal of mining



References

1. Forsyuk, A.A. Sostoyanie promyshlennoi bezopasnosti na ugol'nykh shakhtakh RF / A.A. Forsyuk, S.S. Kobylkin // Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2009. – № 12. – S. 23-26..
2. Voprosy sovershenstvovaniya proizvodstvennogo kontrolya ugledobyvayushchikh predpriyatii s podzemnym sposobom dobychi / Gvozdkova T.N., Gvozdkova I.D., Tyuleneva T.A., Usova E.O. // Ugol'. 2020. № 9 (1134). S. 4.
3. Kilimnik, V.G. Osnovnye rezultaty restrukturalizatsii ugol'noi otrasli Rossii / V.G. Kilimnik // Gornaya promyshlennost'. – 2003. – № 1. – S. 2-6.
4. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings / Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. // Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan). 2021. T. 24. № 1. S. 105.
5. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources / Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. // E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. 2019. S. 01019.
6. Popov, A.N. Risk-orientirovannyi podkhod v promyshlennoi bezopasnosti / A.N. Popov, N.S. Ivashova, A.A. Deulin i dr. // Promyshlennaya i ehkologicheskaya bezopasnost', okhrana truda. – 2015. – № 2 (99). – S. 20-22.
7. Rykov, A.M. Risk-orientirovannyi podkhod v obespechenii bezopasnosti ugol'nykh shakht / A.M. Rykov, Li Khi Un, YU.M. Filatov // Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Vestnik». – 2016 – № 1. – S. 73-76.
8. Davydov, A.V. Analiz sushchestvuyushchikh metodov i vybor kriteriev bazovoi otsenki riskov v oblasti okhrany truda v usloviyakh gornykh predpriyatii / A.V. Davydov, A.M. Golyshev, E.V. Pishchikova // Vestnik Krivorozhskogo natsional'nogo universiteta. – 2012. – № 3 (32). – S. 58-63.
9. Ispol'zovanie teorii nadezhnosti i priemlemogo riska v otsenke posledstviy antropogennykh vozdeistviy na okruzhayushchuyu sredu / Kucherova E.V., Krukovskaya T.A. // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatii v promyshlenno razvitykh regionakh. Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2007. S. 193-195.
10. Tyuleneva T.A. Tsifrovizatsiya gornodobyvayushchei promyshlennosti regiona: problemy i perspektivy // Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2020. – № 4 (30). – S. 25-33.
11. Tyuleneva T. Problems and prospects of regional mining industry digitalization // E3S Web of Conferences, 2020. – Vol. 174. – P. 04019.
12. Stas', G.V. Otsenka riska vzniknoveniya avarii pri dobyche burykh uglei / G.V. Stas', L.EH. Sheinkman, E.V. Smirnova // Izvestiya TuLGU. Nauki o Zemle. – 2015. – Vyp. 3. – S. 31-41.
13. Kissell, F.N. Methods for Controlling Explosion Risk at Coal Mine Working Faces / F.N. Kissell, J.C. Tien, E.D. Thimons // Proceedings of the International Conference of Safety in Mines Research Institutes. – 2007. – Vol. 32. – P. 161-168.
14. Komljenovic, D. Injuries in U.S. Mining Operations – A Preliminary Risk Analysis / D. Komljenovic, W.A. Groves, V.J. Kecojevic // Safety Science. – 2008. – № 46 – P. 792-801.
15. Sari, M. Risk Assessment Approach on Underground Coal Mine Safety Analysis / M. Sari. – Ankara: Middle East Technical University, 2002. – 210 p.
16. Vorob'eva, O.V. Vliyanie chelovecheskogo faktora na risk avarii i travm v sisteme proizvodstvennogo kontrolya sostoyaniya promyshlennoi bezopasnosti na ugledobyvayushchikh predpriyatiyakh / O.V. Vorob'eva, A.A. Sal'nikov // Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2011. – № 7. – S. 111-119.
17. Kononyuk, A.E. Obobshchennaya teoriya modelirovaniya. Nachala. K.I. CH.3. / A.E. Kononyuk. – Kiev: Osvita Ukraïni, 2012. – 568 s.
18. Tripathy, D.P. Risk Assessment in Underground Coalmines Using Fuzzy Logic in the Presence of Uncertainty / D.P. Tripathy, C.K. Ala // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. – 2018. – Vol. 99. – P. 157-163.
19. Metodika otsenki posledstviy avariinykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesei (RD 03-409-01) // Metodiki otsenki posledstviy avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh: sbornik dokumentov. Ser. 27. Vyp. 2 / Kol. avt. – M.: ZAO «NTTS PB», 2010. – 208 s.
20. Baskakov, V.P. Otsenka riskov avarii, intsidentov i neschasnykh sluchaev. Plany upravleniya bezopasnost'yu truda / V.P. Baskakov, V.I. Efimov, G.I. Senatorov // Izvestiya TuLGU. Nauki o zemle. – 2011. – Vyp. 1. – S. 22-35.
21. Kabanov, E.I. Razrabotka modeli ehksperntnoi sistemy na osnove nechetkoi logiki dlya provedeniya otsenki riska vzryvov metana i pyli na ugol'nykh shakhtakh / E.I. Kabanov, G.I. Korshunov, L.V. Pikhkonen,



- V.A. Rodionov // Mezhdunarodnaya gornospasatel'naya konferentsiya «IMRB – 2017», Novokuznetsk, 4-7 sentyabrya 2017.: Sbornik tezisev. – Novokuznetsk, – 2017. – S. 64-65.
22. Grayson, R.L. Pilot Sample Risk Analysis for Underground Coal Mine Fires and Explosions Using MSHA Citation Data / R.L. Grayson, H. Kinilakodi, V. Kecojevic // Safety Science. – 2009. – № 47. – P. 1371-1378.
23. Nguyen, T.H. The Risk Management System in German Hard Coal Companies and the Transference to Southeast Asia: genehmigte Dissertation / T.H. Nguyen. – Aachen: Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2013. – 197 p.
24. Anoshina, I.M. Raschet tekhnogennogo riska avarii na ugol'nykh shakhtakh / I.M. Anoshina // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. – 2005. – № – S. 130-138.
25. Balovtsev, S.V. Upravlenie proizvodstvennymi riskami na ugol'nykh shakhtakh na osnove ranzhirovaniya trebovaniy bezopasnosti / S.V. Balovtsev, O.V. Vorob'eva // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. – 2016. – № 12. – S. 15-20.
26. Mazikin, V.P. Metodologiya i opyt upravleniya gazovydeleniem na shakhtakh v usloviyakh tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo perevoorzheniya / V.P. Mazikin. – M.: Izd-vo. MGGU, 2001. – 104 s.
27. Skopintseva, O.V. Pokazateli aehrologicheskogo riska avarii na vyemochnykh uchastkakh ugol'nykh shakht / O.V. Skopintseva, S.V. Balovtsev, V.N. Mikhailova // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. – 2014. – № 5. – S. 229-234.
28. Krause, E. Methane Risk Assessment in Underground Mines by Means of a Survey by the Panel of Experts (SOPE) / E. Krause, K. Krzemien // Journal of Sustainable Mining. – 2014 – № 13(2). – P. 6-13.
29. Babenko, A.G. Kolichestvennoe otsenivanie tekushchego riska ehkspluatatsii ugol'noi shakhty / A.G. Babenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. – 2016. – № 4. – S. 24-35.
30. Pavlenko, M.V. Otsenka riska vosplamneniya metano-vozdushnoi smesi v zonakh podverzhennykh kompleksnomu vozdeistviyu na ugol'nyi massiv / M.V. Pavlenko, YU.F. Vasyuchkov // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. – 2011. – № 7. – S. 266-272.
31. Ostashev, V.V. Primenenie nechetkoi logiki pri analize i sinteze slozhnykh sistem / V.V. Ostashev // Vestnik PGPU. Seriya: Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki. – 2007. – № 2. – S. 74-78.
32. Iphar, M. Fuzzy Risk Assessment for Mechanized Underground Coal Mines in Turkey / M. Iphar, A.K. Cukurluo // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2018. – № 3. - P. 110-158.
33. Shariati, S. Underground Mine Risk Assessment by Using FMEA in the Presence of Uncertainty / S. Shariati // Decision Science Letters. – 2014. – № 3. – P. 295-304.
34. Kumar, R. Mines Systems Safety Improvement Using an Integrated Event Tree and Fault Tree Analysis / R. Kumar, A.K. Ghosh // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. – 2017. – Vol. 98. – P. 101-108.
35. Qifeng, N. Research and Application of Safety Assessment Method of Gas Explosion Accident in Coal Mine Based on GRA-ANP-FCE / N. Qifeng, S. Shiliang, L. Runqiu // Procedia Engineering. – 2012. – № 45. – P. 106-111.
36. Kabanov, E.I. Otsenka riska vzryvov metana na ugol'nykh shakhtakh Rossii / E.I. Kabanov // Mezhdunarodnyi forum-konkurs molodykh uchenykh «Problemy nedropol'zovaniYA», Sankt-Peterburg, 19-21 aprelya 2017 g.: Sbornik nauchnykh trudov. Chast' II / Sankt-Peterburgskii gornyi universitet. – SPb., – 2017. – S. 31.
37. Airuni, A.T. Teoriya i praktika bor'by s rudnichnymi gazami na bol'shikh glubinakh / A.T. Airuni. – M.: Nedra, 1981. – 335 s.
38. Goncharov, E.V. Geodinamicheskie metody otsenki raspredeleniya metana na kamennougol'nykh mestorozhdeniyakh i meropriyatiya po intensifikatsii metanoprivotokov pri skvazhinnykh metodakh degazatsii / E.V. Goncharov, S.V. Tsirel' // Zapiski Gornogo instituta. – 2016. – T. 222. – S. 803-808.
39. Shevchenko, L.A. Gazovydelenie iz otbitogo uglya pri intensivnoi otrabotke ugol'nykh plastov / L.A. Shevchenko, S.N. Livinskaya // Vestnik KuZGTU. – 2015. – № 1(107). – S. 164-167.
40. Puchkov, L.A. Dinamika metana v vyrabotannykh prostranstvakh ugol'nykh shakht / L.A. Puchkov, N.O. Kaledina. – M.: MSMU, 1995. – 313 s.
41. Bol'shinskii, M.I. Gazodinamicheskie yavleniya v shakhtakh / M.I. Bol'shinskii, B.A. Lysikov, A.A. Kaplyukhin. – Sevastopol': Veber, 2003. – 284 s.
42. Iannacchione, A. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry / A. Iannacchione, F. Varley, T. Brady. – Spokane: National Institute for Occupational Safety and Health, 2008. – 132 p.
43. Abramov, F.A. Aehrogazodinamika vyemochno uchastka / F.A. Abramov, B.E. Gretsinger, V.V. Sobolevskii, G.A. Shevelev. – Kiev: Naukova dumka, 1972. – 236 s.
44. Uvarova, V.A. O prichinakh otravlenii pri krupnykh avariayah na ugol'nykh shakhtakh / V.A. Uvarova // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. – 2012. – № 6 (46). – S. 1-7.



45. Kabanov, E.I. Ispol'zovanie modeli nechetkogo vyvoda pri organizatsii menedzhmenta professional'nykh riskov na ugol'nykh shakhtakh / E.I. Kabanov // Vestnik sovremennykh issledovaniy. – 2018. – № 6-1(21). – S. 400-402.

46. Kirsch, P.A. Could RiskGate Be Applied to Industry Scale Knowledge Management in European Mining? / P.A. Kirsch // Proceedings of the International Conference of Safety in Mines Research Institutes. – 2013. – Vol. 35. – P. 2-10.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Tatyana A. Tyuleneva Ph.D. (Economics), Assistant Professor
e-mail: krukta@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 28 Vesennyaya str., 650000, Russian Federation

Prokopyevsk Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk, 19a Nogradskaya str., 653049, Kemerovo region – Kuzbass, Russian Federation

Mezhdurechensk Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, 36 Stroitelei av., 652881, Kemerovo region – Kuzbass, Russian Federation

Evgeny I. Kabanov, assistant
e-mail: kabanov_ei@pers.spmi.ru

Saint Petersburg Mining University, Russian Federation, 199106, Saint-Petersburg, 2 Line 21 V. I.