

Научная статья
УДК 622.8
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020

Моделирование процесса формирования и скопления взрывоопасных газов в рабочих зонах угольных шахт

Игорь Леонидович Скрипник¹

Дмитрий Вячеславович Савельев²

Татьяна Тимофеевна Каверзнева³

Сергей Григорьевич Ивахнюк⁴

^{1,2,4}Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Автор ответственный за переписку: Игорь Леонидович Скрипник,
ig.skripnick2011@yandex.ru

Аннотация. Представлены основы методологического подхода к решению проблемы создания безопасных условий ведения подземных горных работ на основе моделирования процесса формирования и скопления метана в рабочих зонах угольных шахт, с учетом требований нормативных документов в предметной области. Разработка метода осуществлялась с использованием данных натурных (прикладных/практических) экспериментов полученных на нескольких шахтах Печорского угольного бассейна. Определение мест скопления метана, осуществлялось в прикладных программных комплексах FlowVision и SolidWorks Flow Simulation. Сравнительный анализ полученных результатов моделирования в упомянутых выше программах позволяет сделать вывод о практической сходимости полученных результатов при задании идентичных граничных и начальных условий на входе в модель. По результатам полученных данных высказано предположение о влиянии на процесс формирования мест скоплений метана горношахтного оборудования.

Ключевые слова: моделирование, взрывоопасные газы, шахта, метан, смесь, газ, программный комплекс

Для цитирования: Скрипник И.Л., Савельев Д.В., Каверзнева Т.Т., Ивахнюк С.Г. Моделирование процесса формирования и скопления взрывоопасных газов в рабочих зонах угольных шахт // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С. 201-210. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020>.

Original article

Modeling the process of formation and accumulation of explosive gases in working areas of coal mines

Igor L. Skripnik¹

Dmitry V. Savelyev²

Tatyana T. Kaverzneva³

Sergey G. Ivakhnyuk⁴

^{1,2,4} Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

¹<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Corresponding author: Igor L. Skripnik, ig.skripnick2011@yandex.ru

Abstract. The fundamentals of a methodological approach to solving the problem of creating safe conditions for underground mining are presented based on modeling the process of formation and accumulation of methane in working areas of coal mines, taking into account the requirements of regulatory documents in the subject area. The development of the method was carried out using data from field (applied/practical) experiments obtained at several mines of the Pechora coal basin. Determination of methane accumulation locations was carried out using the FlowVision and SolidWorks Flow Simulation application software systems. A comparative analysis of the obtained simulation results in the above-mentioned programs allows us to conclude that the results obtained are practically convergent when identical boundary and initial conditions are specified at the input to the model. Based on the results of the data obtained, it was suggested that mining equipment influences the process of formation of methane accumulation sites.

Keywords: modeling, explosive gases, mine, methane, mixture, gas, software package

For citation: Skripnik I.L., Savelyev D.V., Kaverzneva T.T., Ivakhnyuk S.G. Modeling the process of formation and accumulation of explosive gases in working areas of coal mines // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 201-210. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.89.41.020>.

Введение

Угольные шахты относятся к категории опасных производственных объектов, в которых наибольшую опасность представляют взрывы метановоздушных (МВС) и/или пылеметановоздушных смесей. При этом характерной особенностью подобных аварий являются последствия в виде групповых несчастных случаев, характеризующиеся большим количеством смертельно и тяжело травмированных работников и сопровождающиеся значительным материальным ущербом [1].

Вследствие увеличения опасности ведения горных работ по газовому фактору, вызванного ростом глубины разработки, темпов добычи полезных ископаемых, увеличением газоносности пластов и как следствие газообильности выработок и т.д., возникает необходимость в разработке специальных дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности горных выработок по газовому фактору. Эти мероприятия должны быть основаны на заблаговременной оценке мест возможных локальных скоплений метана и их контроле для обеспечения безопасных условий труда в рабочих зонах горных выработок (РЗГВ). Актуальность разработки подобных дополнительных мероприятий подтверждается анализом материалов расследований несчастных случаев, связанных с взрывами в угольных шахтах. Согласно данным из ежегодных отчетов Ростехнадзора, одной из основных причин взрывов МВС являлось формирование не выявленных ранее скоплений метана [1,2].

Анализ статистических данных взрывов метана в шахтах России за последние 15 лет показал, что подавляющее большинство из них произошли в выработанном пространстве (Рис.1).

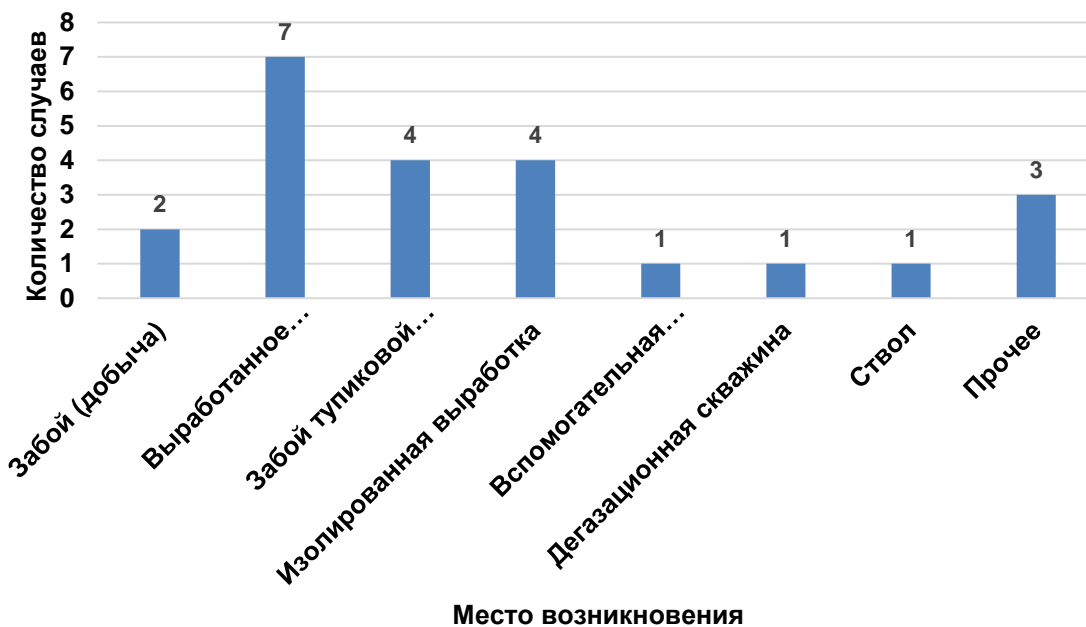


Рис.1. Количество случаев взрыва МВС на угольных шахтах в России за 15 лет

В связи с внедрением риск-ориентированного подхода необходимо учитывать возможность образования локальных зон с повышенной концентрацией метана, как источника опасности. Для этого, целесообразно провести оценку формирования скопления метана и его взрывоопасности вследствие возникновения МВС. При проведении подобной оценки моделирование процессов проветривания является одним из перспективных направлений в рудничной аэрогазодинамике. Это позволит повысить достоверность определения и последующего контроля мест скопления метана в пространстве горных выработок [3,4].

Анализ мест обнаружения скопления горючих газов, прежде всего метана, с повышенной концентрацией показывает, что рациональным методом выполнения требований охраны труда и промышленной безопасности в процессе ведения горных работ, является заблаговременный прогноз динамики формирования зон газоопасных скопления [5,6].

При этом методы непосредственного измерения концентраций пожаровзрывоопасных газовых смесей (ПВГС) в выработке зачастую не могут быть применены ввиду трудности доступа и возможности нарушения структуры полей концентраций при замере [7,8]. На основании выше изложенного следует, что повышение достоверности результатов контроля аэрогазовой обстановки при помощи современных средств мониторинга является актуальной задачей. Кроме того, решение данной проблемы также будет способствовать увеличению эффективности управления процессом проветривания горных выработок и прежде всего выемочных участков и приведет к повышению безопасности жизнедеятельности угольной шахты по газовому фактору [3,9].

Методы исследования

Целью работы являлась разработка основ прогнозирования формирования ПВГС в пространстве горных выработок.

С целью достижения намеченных результатов, на первоначальном этапе настоящей работы, в качестве объекта исследования выбраны условия формирования местных скопления

взрывоопасных газов в горных выработках. При этом предметом исследования являлись способы и методы профилактики производственного травматизма, основанные на прогнозировании формирования и своевременном контроле локальных мест скоплений метана.

С целью достижения намеченных результатов, был использован комплексный подход, включающий в себя набор научно-исследовательских методов, применяемых для обеспечения промышленной безопасности угольных шахт. Он предусматривает применение аналитических, теоретических и экспериментальных [10,11], а также сравнительных методов научного исследования [12]. Данные методы реализованы с помощью многофункциональных систем обеспечения безопасности, установленных на каждой угольной шахте согласно требованиям Российского законодательства [13].

Для сбора необходимых исходных данных и научно-обоснованного выбора прикладной компьютерной программы, а также построения модели массопереноса рудничного воздуха, содержащего ПВГС, были изучены как данные систем аэрогазового контроля, так и приборов индивидуального контроля, а также журнала загазованности шахтных выработок конкретных угольных шахт. На тех или иных этапах работы для сбора необходимых данных проводили натурные эксперименты, включающие в себя аэрогазовоздушные съемки в пределах выемочных участков. Натурные эксперименты выполнены на нескольких угольных шахтах Печорского угольного бассейна. После определения исходных данных и их достаточности было осуществлено компьютерное моделирование на прикладных программных комплексах [7,11].

Результаты исследования и их обсуждение

На основании собранных научно-исследовательских данных, а также результатов анализа требований, действующих законодательных и нормативно правовых актов, регламентирующих вопросы обеспечения охраны труда и промышленной безопасности, позволили выявить ряд проблем в области профилактики, как производственного травматизма, так и обеспечения взрывобезопасности шахты. Так, например, для обеспечения безопасности труда персонала угольных шахт в условиях образования скоплений МВС в рабочих зонах выработок необходима разработка нормативного метода заблаговременного выявления мест образования повышенных концентраций ПВГС для их последующего постоянного мониторинга. Кроме того, необходима разработка дополнительных организационных и методических мероприятий, как по охране труда, так и промышленной безопасности для своевременного оповещения работников о конкретных местах нахождения источников опасности. Для этого необходимо использовать методы формирования и развития прогнозных аварийных ситуаций для снижения последствий воздействия опасных факторов: взрыва местного скопления МВС [4,8].

В ходе выполнения научно-исследовательской работы было установлено, что на сегодняшний день к основным мероприятиям и методам нормализации атмосферы выработок угольных шахт согласно требованиям "Инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт", утвержденной приказом Ростехнадзора от 08 декабря 2020 г. № 506 и ряда других документов относят: проветривание подземных горных выработок, дегазация угольных пластов и контроль состояния рудничной атмосферы с помощью средств аэрогазового контроля, входящих в шахтные многофункциональные системы обеспечения безопасности. Профессиональное и качественное выполнение данных мероприятий по контролю атмосферы выработок позволяет в ряде случаев предупредить развитие инцидентов и аварий и спасти максимальное количество горнорабочих. Применение данных методов нормализации атмосферы выработок вносит существенный вклад в обеспечение безопасности шахты, но одних их недостаточно ввиду наличия возможности формирования местных скоплений метана и отсутствия инструмента по его заблаговременному выявлению. Это в свою очередь, при нарушении требований к ведению технологического и производственного процесса, отсутствия

информирования персонала шахты о правилах поведения при нахождении вблизи или в данных МВС, а также иных факторов, может приводить к тем или иным по тяжести и последствиям чрезвычайным ситуациям [3,14].

Для разработки основ прогнозирования формирования скоплений ПВГС в РЗГВ, направленный на профилактику производственного травматизма шахтеров, необходимо изучить принятые в шахте способы контроля, прежде всего ручного замера концентраций метана и скорректировать их выполнение с учетом выявленных недостатков при проведении ручных замеров концентраций метана в пространстве горных выработок. Это очень важный момент, так как для обеспечения безопасности ведения горных работ и защиты горнорабочих необходимо получение максимально достоверной информации о распределении полей скопления и значении в них концентрации метана.

При неправильной (некорректной) работе по ручному замеру существует вероятность замера случайной величины концентрации метана в рабочей зоне выработки, так как соотношение между длиной скопления и длиной зоны с максимальной концентрацией метана может различаться в широких пределах. При проведении натурных исследований антропометрические показатели замерщика, например, размах рук или рост, отличаются от ширины (градации) зоны с максимальной концентрацией метана (Рис.2).

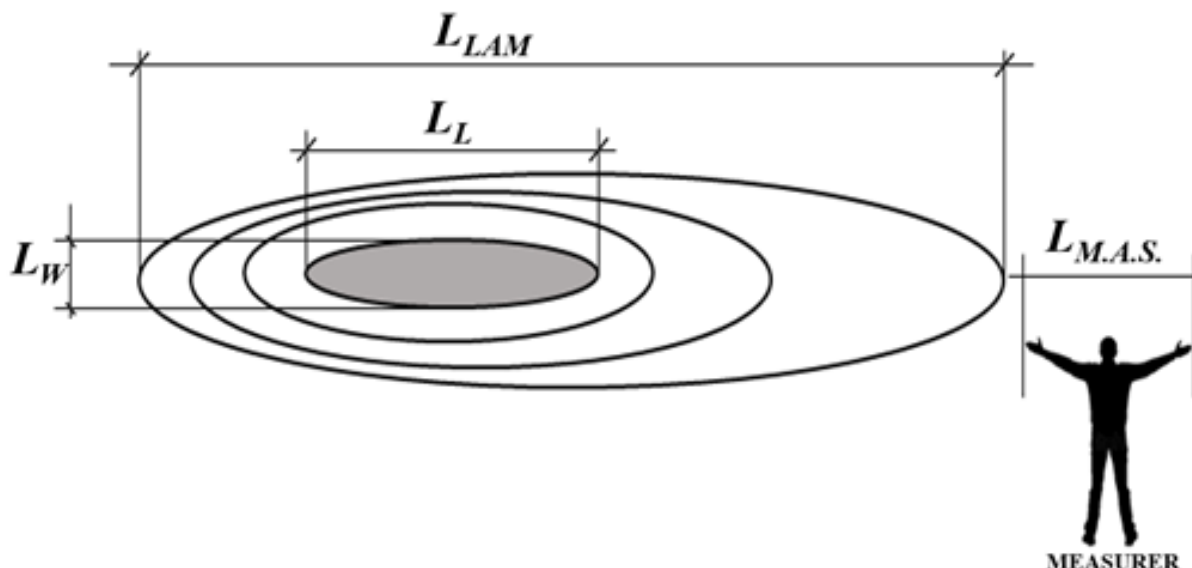


Рис.2. Пример производства ручных замеров концентрации метана в скоплении: LL – длина зоны с максимальной концентрацией метана, м; LW – ширина зоны с максимальной концентрацией метана, м; $LLAM$ – длина скопления метана, м; $LM.A.S.$ – размах рук замерщика, м

Вероятность точного замера максимальной величины концентрации определяется по формуле (1):

$$B_3 = P_1 \cdot P_2 = \left(\frac{LL}{LLAM} \right) \cdot \left(\frac{LW}{LM.A.S.} \right) \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – вероятность попадания в зону с максимальной концентрацией метана и проведения точного замера соответственно.

При условии, если значение P_2 больше или равно 1, то для расчета необходимо принимать $P_2 = 1$.

В Таблице 1 приведены некоторые из полученных результатов по оценке точности замеров ПВГС. В качестве исходных данных приведены усредненные параметры местных скоплений. При проведении исследований средний размах рук замерщика (его антропометрические показатели) был принят в 1,8 метра (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Результаты оценки точности замеров в местах аэрогазового контроля

Выработка (место скопления)	Характеристики			
	L_W (м)	L_L (м)	L_{LAM} (м)	B_3
Тупиковая выработка	0,4	2,1	4	0,12
Конвейерный штрек	1,3	1,5	6,1	0,18
Вентиляционный штрек	0,5	1,1	2,9	0,1
Сбойка	0,2	0,9	1,3	0,07

Таким образом, можно проследить, что в процессе производства замеров существует вероятность проведения неточного замера, которое приводит к появлению недостоверной информации (картины) о загазованности выработок. Также необходимо учитывать, что вмешательство в поля концентрации способствуют их размытию и в последующем искажению информации (картины) загазованности выработок. Поэтому необходим метод контроля, не оказывающий физическое влияние на местное скопление и не способствующий его размытию.

На последнем этапе выполнения работы по данной проблематике стало математическое моделирование аэрогазодинамических процессов формирования местных скоплений метана.

На большинстве объектов ведения горных работ для решения тех или иных задач, в том числе и научного характера, применяются в основном три профессиональные программы: «Computational Fluid Dynamics (CFD)-комплекс Flow Vision», «SolidWorks» [2,3]. Согласно полученным предварительным результатам моделирования, один из которых представлен на Рис.3 и 4, было выявлено, что наиболее подходящими для решения стоящих в исследовании задач, являются программные комплексы FlowVision и «SolidWorks Flow Simulation». При этом Flow Vision является на наш взгляд более простой по скорости освоения и приобретения навыков работы с ним, чем с комплексом SolidWorks Flow Simulation. Также стоит отметить, что в зависимости от стоящих задач перед горным инженером, его базовых знаний будет недостаточно. Тогда потребуется дополнительная подготовка, связанная с моделированием процессов массопереноса ПВГС в пространстве горных выработок с помощью рассмотренных прикладных программных комплексов.

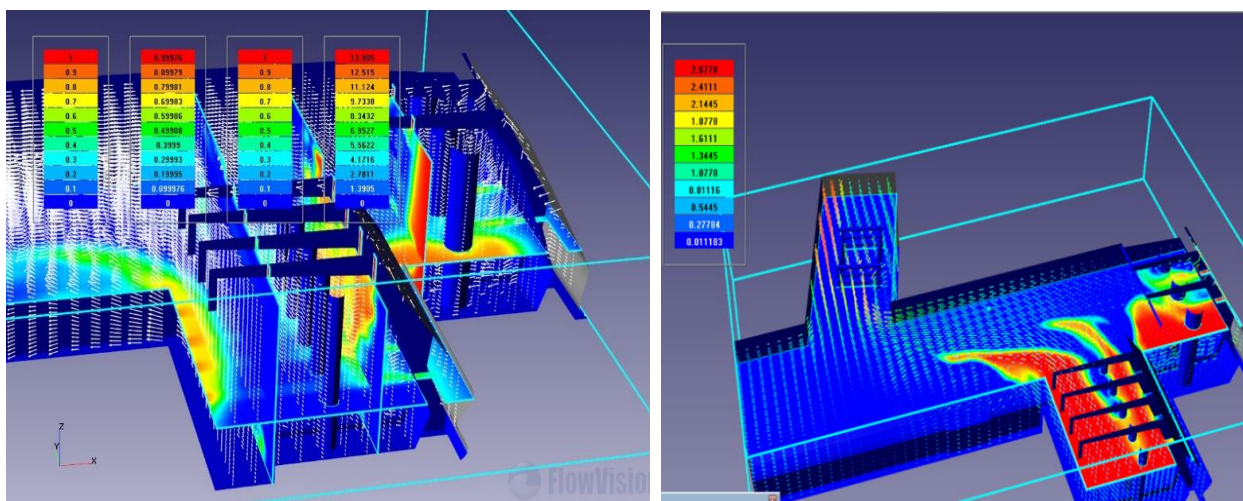


Рис.3. Пример решения задач аэрогазодинамики в программном комплексе FlowVision: Особенности распределения векторов скоростей, исходящих и подсвежающих струй, оказывающих влияние на формирование местных скоплений (участок – «лава»)

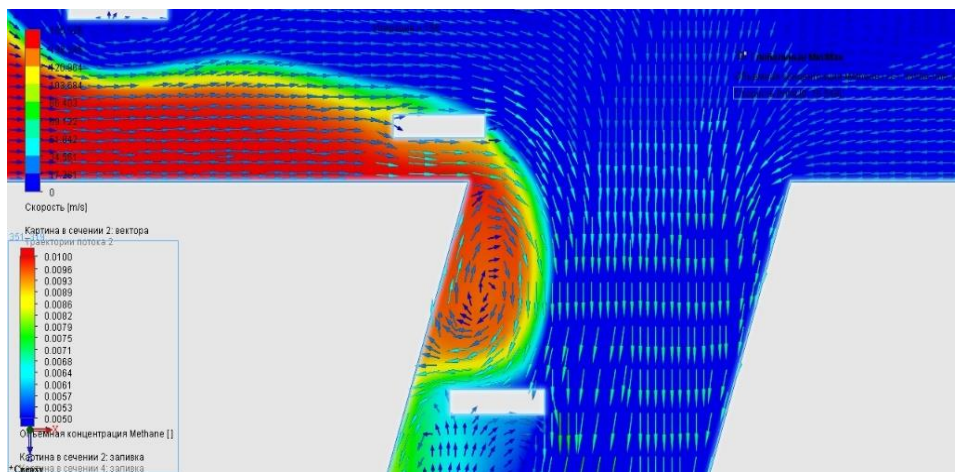


Рис.4. Векторы скоростей воздушного потока, смоделированные в программном комплексе «SolidWorks Flow Simulation»

В общем виде предлагаемый метод прогнозирования формирования скоплений ПВГС в рабочих зонах угольных шахт, направленный на профилактику производственного травматизма шахтеров, изображен на Рис.5 в качестве методики последовательных действий управленческого инженерно-технического персонала (УИТП) угольной шахты. В приказах, подписанных руководителем организации, отражаются ответственные исполнители, их обязанности.



Рис.5. Схема методики последовательных действий УИТП угольной шахты

Использование разрабатываемого метода прогнозирования образования скоплений ПВГС в пространстве горных выработок, направленного на профилактику производственного травматизма шахтеров и предотвращение накопления ПВГС, упростит задачу специалистам службы аэрологической безопасности в обеспечении целевого контроля содержания метана в выработках газовых шахт. Это также позволит научно обоснованно и адресно устанавливать дополнительные датчики системы аэрогазового контроля. [15,16].

Заключение

Сравнительный анализ полученных результатов моделирования в программах «Computational Fluid Dynamics (CFD)-комплекс Flow Vision», «SolidWorks» позволяет сделать вывод о практической сходимости полученных результатов при задании идентичных граничных и начальных условий на входе в модель.

Компьютерное моделирование позволяет оценить целесообразность изменения параметров проветривания с целью снижения возможности возникновения местных и слоевых скоплений метана, а также определить критический объём МВС, в местах их наиболее вероятного возникновения. Работа в данном направлении продолжается, и вскоре станет возможным составление каталога (альбома схем) характерных мест формирования скоплений ПВГС, которые можно разработать отдельно для каждой шахты. Такого рода альбом схем, в котором будут приведены все основные наиболее вероятные места скопления ПВГС, поможет обеспечить промышленную безопасность угольных шахт, тем самым появится возможность исключить инциденты и аварии по причине возгораний/взрыва ПВГС.

В связи с имеющимися материально-техническими возможностями и полученными результатами, направленными на сохранение человеческой жизни, целесообразно продолжить работу в данном направлении.

Список источников

1. Родионов В.А., Скрипник И.В., Каверзнева Т.Т., Жихарев С.А. Предпосылки применения риск-ориентированного подхода к оценке взрывопожароопасных свойств горнодобывающих материалов // E3S Web of Conferences 417, 05013 (GEOTECH-2023); URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013> (дата обращения 08.08.2024).
2. Комаров А.А., Громов Н.В., Бажина Е.В. Восстановление сценария развития взрывной аварии расчетным методом // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 8. С. 7–13. DOI 10.24000/0409-2961-2020-8-7-13.
3. Кумар В.Р., Ничит К., Вигнешваран С. и др. Физика детонационной химии: радикальная теория прогнозирования перехода дефлаграции в детонацию, взрывов окружающей среды и сверхновых // Форум AIAA по движению и энергетике. 2021. DOI 10.2514/6.2021-3242.
4. Магомед Р.Д., Родионов В.А. Повышение взрывобезопасности угольных шахт российской федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S6. С. 147-155.
5. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М.: Недра, 1976. 272 с.
6. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 279 с.
7. Уинтон Дж.Г. Обзор энергии, связанной с выбросами угля // Международный журнал горной науки и технологий. 2018. Т. 28. Вып. 5. С.755–761. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.08.004.
8. Родионов В.А., Скрипник И.Л., Ксенофонтов Ю.Г., Каверзнева Т.Т. Определение кинетических параметров и условий самовозгорания угля при его транспортировке // Труды конференции AIP 2467, 080004 (2022). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0093906>.
9. Черданцев Н.В. Об одном варианте расчета напряженного состояния пласта, обрабатываемого очистной выработкой // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 8. С. 23-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-23-28.
10. Колеров Д.А. Компьютерное моделирование определения индивидуального риска работника лакокрасочного предприятия // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): Материалы Молодежной программы 25-ой Международной специализированной выставки и Форума «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2021, Москва, 07–10 декабря 2021 года. Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2021. С. 158-161.
11. Скрипник И.Л., Марченко М.А., Колеров Д.А., Исембулатов А.С. Применение компьютерного моделирования для расчета индивидуального риска на примере окрасочного производства // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2019. № 4(32). С. 5-12.
12. Родионов В.А., Серегин А.С., Иконников Д.А. Мультипликативный метод оценки взрывопожароопасных свойств рудничной атмосферы при поступлении в воздушную среду углеводородных газов // Горный журнал, 2023, № 9, pp. 35-40. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.05.

13. Протосеня А.Г., Ставрогин А.Н. Механика деформирования и разрушения горных пород. М.: Недра, 1992. 224 с.
14. Галиндо Р.А., Серрано А., Олалла К. Предельная несущая способность скальных массивов на основе модифицированного критерия прочности Мора — Кулона // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2017. Т. 93. С.215–225. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.12.017.
15. Скрипник И.Л., Воронин С.В. К вопросу о современном состоянии теории проектирования новых образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 218-220.
16. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчетная процедура оценки технического уровня разработок изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). № 2 (22) – 2017. С. 36-46.
17. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Модель качества разработки изделий пожарной техники // Научно-аналитический журнал. Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). № 4 (24) – 2017. С. 35-42.

References

1. Rodionov V.A., Skripnik I.V., Kaverzneva T.T., Zhikharev S.A. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials // E3S Web of Conferences 417, 05013 (GEOTECH-2023); URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013> (access date 08.08.2024).
2. Komarov A.A., Gromov N.V., Bazhina E.V. Reconstruction of the scenario for the development of an explosive accident using the calculation method // Occupational safety in industry. 2020. №. 8. pp. 7–13. DOI 10.24000/0409-2961-2020-8-7-13.
3. Kumar V.R.S, Nichith C., Vigneshwaran S. et al. The Physics of Detonation Chemistry: A Radical Theory in Predicting the Deflagration to Detonation Transition, Environmental and Supernova Explosions // AIAA Propulsion and Energy Forum. 2021. DOI 10.2514/6.2021-3242.
4. Magomet R.D., Rodionov V.A. Increase of explosion safety of coal mines. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2019; 4/6:147-155. [In Russ] DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-147-155.
5. Fisenko G.L. Limit states of rocks around workings. M.: Nedra, 1976. 272 P.
6. Petukhov I.M., Linkov A.M. Mechanics of rock bursts and outbursts. M.: Nedra, 1983. 279 P.
7. Winton J.G. A review of energy associated with coal bursts // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Iss. 5. pp. 755–761. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.08.004.
8. Rodionov V.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T. Determination of Kinetic Parameters and Conditions of the Spontaneous Combustion of Coal During its Transportation. AIP Conference Proceedings 2467, 080004 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0093906>.
9. Cherdantsev N.V. About one option for calculating the stressed state of a formation mined by a mining working // Occupational safety in industry. 2020. №. 8. pp. 23-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-23-28.
10. Kolerov D.A. Computer modeling of determining the individual risk of an employee of a paint and varnish enterprise // Collection of works of the Competition of Scientific Research Works (R&D Competition): Materials of the Youth Program of the 25th International Specialized Exhibition and Forum “Occupational Safety and Health” BIOT-2021, Moscow, December 07–10, 2021. Moscow: Association of developers, manufacturers and suppliers of personal protective equipment, 2021. pp. 158-161.
11. Skripnik I.L., Marchenko M.A., Kolerov D.A., Isembulatov A.S. Application of computer modeling to calculate individual risk using the example of painting production // Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects) . 2019. issue 4(32). pp. 5-12.

12. Rodionov V.A., Seregin A.S., Ikonnikov D.A. Multiplicative method to assess fire and explosion hazard of mine air containing hydrocarbon gases GORNYI ZHURNAL, 2023, № 9, pp. 35–40 DOI: 10.17580/gzh.2023.09.05.

13. Protosenya A.G., Stavrogin A.N. Mechanics of deformation and fracture of rocks. M.: Nedra, 1992. 224 P.

14. Galindo R.A., Serrano A., Olalla C. Ultimate bearing capacity of rock masses based of modified Mohr — Coulomb strength criterion// International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. vol. 93. pp. 215–225. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.12.017.

15. Skripnik I.L., Voronin S.V. On the issue of the current state of the theory of designing new models of fire equipment // Reliability and durability of machines and mechanisms: collection of materials of the VIII All-Russian Scientific and practical conference, Ivanovo, April 13, 2017 - Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. – pp. 218-220.

16. Skripnik I.L., Voronin S.V. Calculation procedure for assessing the technical level of development of fire equipment products // Scientific and analytical journal. Natural and man-made risks (Physical, mathematical and applied aspects). No. 2 (22) – 2017. pp. 36-46.

17. Skripnik I.L., Voronin S.V. The quality model of the development of fire equipment products // Scientific and analytical journal. Natural and man-made risks (Physical, mathematical and applied aspects). No. 4 (24) – 2017. pp. 35-42.

Информация об авторах

И.Л. Скрипник - кандидат технических наук, доцент

Т.Т. Каверзнева - кандидат технических наук, доцент

Д.В. Савельев - кандидат военных наук, доцент

С.Г. Ивахнюк - кандидат технических наук

Information about the author

I.L. Skripnik - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

T.T. Kaverzneva - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

D.V. Savelyev - Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor

S.G. Ivakhnyuk - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 21.08.2024, принята к публикации 31.08.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 21.08.2024, accepted for publication 31.08.2024.