

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНА ПРИ ФРИКЦИОННОМ КОНТАКТЕ РЕЗЦОВ С ПОРОДОЙ

Ю.Н. Линник¹, В.Ю. Линник¹, А.Б. Жабин², А.В. Поляков³

¹ Государственный университет управления, Москва, Россия, e-mail: vy_linnik@guu.ru

² Тульский государственный университет, Тула, Россия

³ Тульское отделение Академии горных наук, Тула, Россия

Аннотация: Во многих случаях причиной взрывов опасных концентраций пылеметановоздушных смесей на угольных шахтах являются фрикционное контактирование резцов с разрушаемым горным массивом. В этой связи многие ученые проводят исследования взрывоопасности применения резцов на шахтах, однако до настоящего времени не существует общего мнения о природе воспламенения метана при разрушении ими горных пород. Большинство исследователей считают, что основной причиной воспламенения метана является горячее пятно контакта резца с поверхностью породы, состоящее из расплавленных частиц породы и изнашиваемого материала армировки. Вероятность воспламенения метана зависит от режимных и геометрических параметров резцов, а также от материала режущего инструмента. Чем больше скорость резания и толщина стружки, тем выше вероятность воспламенения метана, и, напротив, с увеличением заднего угла взрывоопасность применения резцов снижается. Отсутствует единое мнение ученых о влиянии типа и формы режущей части резца на взрывобезопасность их применения: одни из них полагают, что применение поворотных резцов с конической формой режущей части по сравнению с радиальными призматическими резцами снижает вероятность воспламенения метана, другие считают, что взрывоопасность радиальных резцов соизмерима с взрывобезопасностью конических. Самым противоречивым является вопрос о влиянии формы армировки резца и материала, из которого он изготовлен, на взрывоопасность их применения в пылеметановоздушной среде, хотя некоторые исследователи считают, что применение алмазно-твердосплавных и вольфрамо-кобальтовых армировок существенно снижают вероятность воспламенения метана.

Ключевые слова: метан, резец, порода, взрыв, воспламенение, пятно контакта, режимные и геометрические параметры, материал.

Для цитирования: Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Поляков А. В. Анализ причин воспламенения метана при фрикционном контакте резцов с породой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 4. – С. 67–76. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_67.

Causes of methane inflammation in frictional rock-cutting tool contact

Yu.N. Linnik¹, V.Yu. Linnik¹, A.B. Zhabin², A.V. Poljakov³

¹ State University of Management, Moscow, Russia, e-mail: vy_linnik@guu.ru

² Tula State University, Tula, Russia

³ Tula Branch of Academy of Mining Sciences, Tula, Russia

Abstract: In most cases, the cause of explosions of hazardous methane–air–dust concentrations in coal mines is the frictional contact of rocks and rock cutting tools. Many researchers analyze the explosion hazard in operation of cutting tools in mines but have unachieved a common perception of the methane inflammation mechanism in rock cutting so far. Many researchers think the main cause of methane inflammation is the hot rock–cutting tool contact spot composed of fused rock particles and worn cutter tipping material. Methane inflammability depends on operating conditions, geometry of cutting tools and on the properties of materials they are made of. The higher cutting speed and the thicker reinforcement layer enhance probability of methane inflammation while the increased tool back clearance reduces explosion hazard of cutting tools. There is yet no uniform knowledge of the effect exerted by the cutter shape and type on the cutting explosion hazard: some scientists believe rotary picks with conical cutters reduce the likelihood of methane inflammation as compared with the radial prismatic cutting tools, others think the explosion hazard of the radial cutters is comparable with the explosion safety of the conical cutters. The highest controversy lies in the influence of the cutter material and reinforcement on cutting explosion hazard in the dust–methane–air environment, although some researchers trust the diamond-coated carbide and tungsten carbide–cobalt reinforcement can substantially reduce methane inflammability.

Key words: methane, cutter, rock, explosion, inflammation, contact spot, operating conditions and geometry, material.

For citation: Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B., Poljakov A. V. Causes of methane inflammation in frictional rock–cutting tool contact. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(4):67–76. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_67.

Введение

В период 2005 – 2019 гг. в результате взрывов (вспышек) пыле-метано-воздушных смесей (в том числе с участием угольной пыли) на шахтах России было травмировано 645 чел., из них со смертельным исходом – 367 чел. [1]. В основном взрывы происходят на шахтах Кузбасса, где почти все разрабатываемые пласты относятся к опасным по взрывам пылеметановоздушных смесей.

Как показывает мировой опыт добычи угля подземным способом, одной из основных причин воспламенений шахтного метана является фрикционный контакт резцов с разрушаемым массивом, их доля практически приблизилась к количеству воспламенений от тепловых импульсов, возникающих при взрывных работах и эксплуатации электрооборудования [2].

Г. Шельтер в своей работе [3] указывает, что из 59 случаев взрывов и вос-

пламенений метана на шахтах США 54 произошли вследствие фрикционного контакта режущего инструмента с забоем при его разрушении резанием. Это подтверждают и другие исследователи в своих публикациях [4 – 7]. Однако, несмотря на это, исследования и разработки по предотвращению фрикционного воспламенения метана в основном направлены не на установление причин и механизмов их возникновения, а на поиск и совершенствование систем подавления вспышек метана в части выбора рациональных схем компоновки оросителей на комбайнах, типа оросителей и параметров их работы.

В этой связи были проанализированы результаты исследований зарубежных и российских ученых по установлению причин фрикционного воспламенения метана и влиянию параметров резцов на взрывобезопасность их применения в метановоздушной среде.

Результаты

Механизм воспламенения метана при резании пород

Среди ученых развернулась дискуссия о механизме воспламенения и о том, как на него влияют параметры режима резания. Наибольшее распространение среди ученых имеет концепция воспламенения метановоздушной смеси горячим пятном контакта, возникающим в подрезцовом пространстве на поверхности породы [1–5]. Ученые полагают, что пятно (горячий след) состоит из расплавленных частиц породы и изнашиваемого материала резца. Наряду с этим существует гипотеза об иницировании вспышки метановоздушной смеси возникающими искрами в процессе фрикционного контакта резца с породой при резании. Однако ряд исследователей [4, 8, 9] опровергают эту гипотезу. Так, например, В. Томас в своей работе [9] экспериментально показал, что интенсивное искрение от фрикционного контактирования мягкой стали с породами в метановоздушной среде в течение 5 мин не вызвало воспламенения. Дж. Пирри также утверждает [3], что благодаря современным методам исследований стало возможным более доказательно считать причинами воспламенения разогретые до критических температур кварц и пирит при их контакте с резцами, а не поток возникающих при их резании искр. При этом если контакт резца с кварцем приводит к образованию горячего пятна, вызывающего воспламенение метановоздушной смеси, то для пирита, вероятно, более весомой причиной является самовозгорание пиритной пыли в результате экзотермической реакции окисления частиц сернистого железа, содержащегося в пирите.

При описании механизма воспламенения метановоздушной смеси посредством разогретого пятна при контакте резца с породой установлено [10], что

с ростом температуры снижается критическая площадь пятна контакта, при котором происходит воспламенение.

В работе [3] показано, что для воспламенения метановоздушной смеси достаточно иметь площадь пятна контакта резца с породой размером до 6 мм^2 , нагретого до температуры $1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

В своих работах [11, 12] Д.В. Ботвенко установил, что для зажигания метановоздушной смеси взрывоопасной концентрации диаметр прогретой области должен составлять не менее $0,12 \text{ см}$, минимальная энергия искры – $0,32 \text{ мДж}$. При скорости динамического контакта кварцсодержащих горных пород в диапазоне от 1 до 10 м/с температура пятна контакта может достигать температуры плавления материала за время 10^{-4} – 10^{-6} с .

Согласно данным Х. Лемана [13], наиболее нагретые поверхности в борозде резания находятся на расстоянии 20 – 30 мм позади резца, что обусловлено реакцией окисления частиц породы, отделенных от массива, при этом температура может достигать $1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Влияние режимных параметров на воспламенение метан-воздушной смеси

Согласно полученным различными исследователями результатам, увеличение скорости резания в определенном интервале приводит к повышению взрывоопасности при фрикционном контакте резца с породой. Для затупленного резца это влияние менее значимо.

В своей работе [14] Р. Бликендерфер использует и подтверждает опытами зависимость, согласно которой период до воспламенения T обратно пропорционален квадрату нагрузки P и четвертой степени скорости резания V_p :

$$T = \frac{K}{P^2 \cdot V_p^4},$$

где K – константа взрывчатой смеси и трущейся пары.

В работе [10] приводится толкование Р. Бликендерфера, которое сводится к тому, что возрастание скорости резания ведет к увеличению длины горячего пятна, что, в свою очередь, способствует ускорению воспламенения метановоздушной смеси.

Х. Леман [13] приводит данные о том, что при скорости резания менее 1,5 м/с снижается опасность воспламенения метановоздушной смеси, а при скорости 0,5 м/с — вообще отсутствует. В. Кортни считает [5], что при наличии тенденции снижения вероятности воспламенения с уменьшением скорости резания резцом пороговая скорость не определена. Более того, практически все исследователи отмечают снижение степени влияния скорости на вероятность воспламенения метановоздушной смеси при резании углелесородного массива затупленным резцом [10, 15, 16].

Влияние толщины стружки

Исследования, выполненные Д. Ларсоном [15], позволили установить тенденцию возрастания взрывоопасности при росте толщины стружки. Такой же вывод был сделан и в работе [10], в которой обобщены результаты исследований по воспламеняемости метановоздушной смеси при фрикционном контакте резца с породой.

Рост толщины стружки приводит к увеличению нагрузок под резцом, а значит, и к росту взрывоопасности процесса резания, что подтверждает формула, приведенная выше, а также вывод Р. Трумена [10] о том, что именно нагруженность является решающим фактором, вызывающим воспламенение метановоздушной смеси.

Влияние геометрических параметров резца

Исследования, выполненные Д. Ларсоном [13], показали, что для снижения взрывоопасности следует оснащать горные машины резцами с конической

формой режущей части. При этом необходимо стремиться к уменьшению как диаметра конической части резца, так и угла конуса, для того чтобы обеспечить минимальную линию контактирования резца с разрушаемым массивом. При этом многие исследователи утверждают [5, 8, 16, 17], что для уменьшения пятна контакта следует чаще менять резцы по мере их изнашивания, поскольку изношенный резец, по сравнению с новым, в 3–4 раза повышает вероятность воспламенения. Несмотря на различные толкования влияния степени затупления резцов, следует полагать, что чем меньше площадь контакта резца с породой, тем меньше вероятность воспламенения метановоздушной смеси. Этим же объясняется и вывод В. Роепке [18] о целесообразности увеличения заднего угла резца. Дело в том, что при уменьшении заднего угла увеличивается нормальная сила, действующая на резец, что в свою очередь вызывает увеличение температуры в зоне контакта резца с породой и, как следствие, приводит к росту вероятности взрыва метано-воздушной смеси.

В работах [7, 19] описано положительное влияние роста угла атаки (угол между плоскостью резания и осью резца) тангенциальных резцов с конической формой режущей части на взрывобезопасность их работы при резании крепких песчаников. В работе [6] автор приводит данные о влиянии числа ударов закрепленного резца о породу на воспламенение метана. Показано, что при угле атаки 500 воспламенение происходило при 20 ударах и возрастало до 60 и 90 ударов при углах атаки 60° и 67° соответственно. Результаты исследований были реализованы в компании Хагес Туул Компани, где были использованы резцы с углом атаки 57° (угол заострения 75°). Результаты испытаний показали, что применение таких резцов на модернизированных шнековых ис-

полнительных органах угледобывающих комбайнов позволило исключить взрывы метановоздушной смеси при добыче 50 тыс. т угля, в то время как использование резцов с углом атаки 500 привело к двум взрывам при добыче 10 тыс. т [19]. Полученные в компании положительные результаты с использованием резцов с увеличенным углом атаки связаны с тем, что последнее позволило увеличить задний угол реза и уменьшить тем самым площадь контакта режущей части с углепородным массивом и, как следствие, уменьшить нагруженность инструмента, а значит и вероятность воспламенения метановоздушной среды.

В. Роепке и Б. Хенсон провели сравнительные испытания взрывоопасности применения радиальных призматических (не вращающихся) резцов и тангенциальных (поворотных) с конической формой режущей части. На основании экспериментально полученных ими результатов в работе [8] был сделан вывод о том, что взрывоопасность радиальных резцов соизмерима с взрывобезопасностью конических резцов с параметрами, обеспечивающими минимальную вероятность воспламенения метановоздушной смеси. В работах [17, 20] также приводится качественное сравнение таких резцов и предпочтение с точки зрения взрывоопасности их применения отдается радиальным резцам.

В своей публикации [16] авторы обобщили исследования взрывобезопасности применения резцов при резании и сделали следующие выводы.

1. Фрикционное возгорание метана при «сухом» резании (без подачи на резец орошающей жидкости) коническими поворотными резцами быстро возникает даже при малых скоростях вращения исполнительного органа.

2. При работе новых радиальных резцов никогда не возникало фрикцион-

ного возгорания метана, однако при их затуплении оно быстро возникает даже при малых скоростях вращения исполнительного органа.

Данным, полученным В. Кортни, не противоречат результаты испытаний, приведенные в работе М. Лакери [19], где он проранжировал различные типы резцов по взрывобезопасности их применения. В порядке убывания взрывоопасности он распределил резцы следующим образом: тангенциальные поворотные с конической формой режущей части, радиальные, тангенциальные неповоротные.

Исходя из предположения о том, что защита стальной державки твердосплавной армировкой является гарантией повышения взрывобезопасности, и с учетом необходимости увеличения заднего угла в работе [19], предложены в качестве менее опасных по воспламенению метана поворотные конические резцы и неповоротные конические с грибовидной формой армировки. Рекомендовано также первые использовать с задним углом 11° , а вторые — с углом 25° . Однако в работе [17] авторы утверждают, что неповоротные конические резцы с грибовидной формой армировки имеют незначительные преимущества по взрывобезопасности по сравнению с обычными поворотными коническими резцами. Первые в процессе эксплуатации показали низкую стойкость из-за непрочности соединения грибовидной армировки с корпусом реза; но даже если вставка не выпадала, они не являлись более безопасными при эксплуатации в метановоздушной среде.

Влияние материала реза

Вопрос о влиянии материалов, применяемых в резах, на взрывоопасность при разрушении песчаников, является наиболее противоречивым. Связано это с тем, что в резах используются два типа существенно отличающихся по

свойствам материала: в качестве армировки — твердые вольфрам-кобальтовые сплавы группы WC-Co, а для державки — легированные конструкционные стали.

На основании работ Бликендерфера [14] широкое распространение получило представление о том, что взрывоопасность применения резцов, армированных вольфрам-кобальтовыми сплавами, существенно ниже взрывоопасности применения сталей. В ряде публикаций [5, 6, 18], как правило, со ссылкой на исследования Горного Бюро США, принимается как факт положение о том, что контакт разрушаемого породного массива со стальным хвостовиком резца является первопричиной взрывоопасности применения режущего инструмента. В последнее время появляются публикации, авторы которых не дают столь однозначной оценки. Так, Э. Местравик и А. Баррет отмечают [17] наличие двух подходов к данному вопросу — с одной стороны, мнение М. Лакери, соответствующее точке зрения, приведенной выше, а с другой — результаты исследований В. Роепке, Б. Хенсона, Ф. Пауэла, согласно которым воспламенение метана может быть вызвано контактированием породы с вольфрам-кобальтовым сплавом, особенно при малых значениях заднего угла режущего инструмента. Выполненные испытания цилиндров, изготовленных из различных материалов, при их контакте с вращающимся кругом песчаника в метановоздушной среде, показали [9], что воспламенения вызывались при контакте с песчаником цилиндров, изготовленных из карбида вольфрама, никелевой стали и медного сплава. Воспламенения при использовании латуни вообще не наблюдались. На основании полученных результатов в статье было высказано предположение, что воспламенение метана происходит тогда, когда в состав материала входит компо-

нент, который сохраняет свои механические свойства при температуре, способной воспламенить метан в существующих условиях.

В работе [4] при постановке проблемы взрывоопасности отмечено, что исследования различных материалов, используемых в резцах, на их воспламеняющую способность и тепловую энергию искрения, выполненные Горным Бюро США, проводились не в метановоздушных, а в водородовоздушных средах, где имеет место совершенно другой механизм воспламенения: в водородовоздушных средах воспламенение вызывается фрикционным искрением, а в метановоздушных — нагревом пятна контакта резца с породой.

Р. Трумен, проанализировав широкий круг публикаций по вопросам фрикционного воспламенения метана, пришел к выводу [10], что до настоящего времени отсутствует единое мнение о влиянии материала резца на опасность воспламенения метана.

В последнее время стали появляться публикации [4, 18, 21] о перспективности применения в резцах алмазно-твердосплавной армировки для снижения взрывоопасности работы режущего инструмента. Так, В. Роепке в своей публикации [18] приводит результаты испытаний радиальных резцов, армированных алмазными режущими вставками, на основании которых делается вывод о том, что применение таких резцов при резании горных пород не ведет к воспламенению метановоздушных смесей. Однако, анализируя полученные В. Роепке результаты, В. Коллин и Ю. Корнецкий в своей публикации [21] отмечают, что испытания проводились с острыми резцами, а данные по испытаниям затупленных резцов, армированных алмазными вставками, отсутствуют.

Помимо тех причин воспламенения пылеметановоздушных смесей, которые

указаны выше, в работах [22–25] показано, что для снижения показателей аварийности, в том числе и при взрывах метана, необходимо развивать направления по использованию защитных мероприятий комплексного характера с учетом принципов риск-ориентированного подхода и системного анализа источников опасностей. При этом особое внимание следует уделять выявлению источников опасностей, возникающих при совместном влиянии горно-геологических и горнотехнических факторов.

Заключение

Подводя итог анализа данных о влиянии параметров и материалов режущего инструмента на взрывоопасность их применения, можно сделать следующие выводы.

1. В оценках авторов имеют место противоречия в отношении влияния геометрических параметров резцов на взрывобезопасность их применения, однако общим является утверждение о необходимости уменьшения площади контакта резца с породой, для чего необходимо увеличивать задний угол и чаще менять резцы.

2. Нельзя рассматривать полученные результаты взрывобезопасности применения резцов в отрыве от величины

мгновенного контакта резца с разрушаемым массивом, поскольку все известные ранее и вновь создаваемые резцы сконструированы таким образом, чтобы при их работе осуществлялся контакт массива с армировкой, а не со стальной державкой резца. Как правило, лишь на изношенном резце при его взаимодействии с породой происходит одновременный контакт армировки и стальной державки с разрушаемым массивом, причем в этом случае пятно контакта с породой, приходящееся на твердосплавную армировку, уже значительно, что существенно повышает вероятность воспламенения метана.

3. Для применяемых в резцах различных сочетаний материалов державки и армировки необходима разная по величине площадь пятна контакта с массивом для достижения условий, вызывающих воспламенение метана.

Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре «Экономика и управление в ТЭК» ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» и кафедре «Геотехнология и строительство подземных сооружений» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» за поддержку, оказанную при подготовке настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанов Е. И., Коршунов Г. И., Корнев А. В., Мяков В. В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005–2019 гг. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2-1. – С. 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.

2. Липин Ю. И. Фрикционное воспламенение пылеметановоздушных смесей и его предупреждение в угольных шахтах. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2001. – 50 с.

3. Шельтер Г. Значение защиты от подземных взрывов с точки зрения горного надзора // Глюкауф. – 1989. – № 21/22. – С. 5–9.

4. Peary J. T. Against frictional ignitions associated with coal gutting and funneling // Mining Engineer. 2018, vol. 283, pp. 517–522.

5. Kortney W., Salman R., Mandell L., Abcede R. Frictional ignition problems in US coal mines / XIX International Conference of Research Institutes of Safety in Mines. 2019, pp. 488–494.

6. *US Bureau of mines research update. Remote methane detection fire suppression system improved bit design wetland ecosystems for acid mine drainage coal bump studies // Mining Engineer. 1987, vol. 39, no. 8, pp. 788–790.*

7. *Шолль Э. В. Возникновение взрывов метана и угольной пыли и их предотвращение // Глюкауф. — 1989. — № 21/22. — С. 9–11.*

8. *Hartman F. Frictional ignition of gasses by mining machines // Mining Congress Journal. 1955, pp. 34–36.*

9. *Tomas W. G., Dacey U. W. The incendivity of frictional sparks // Colliery Engineering. 1963, vol. 40, no. 477, pp. 65–70.*

10. *Trueman R. A literature review of the ignition of methane – air mixtures by coal – gutting picks // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 1985, vol. 85, pp. 209–215.*

11. *Ботвенко Д. В. Методологические основы прогноза и локализации взрывного горения рудничных газов при разрушении горных пород на угольных шахтах. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. — Кемерово, 2020. — 47 с.*

12. *Ботвенко Д. В., Попов В. Б., Ермолаев А. М., Казанцев В. Г. Исследования возможности и причин искрообразования при деформировании и разрушении горных пород // Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 10. — С. 62–64.*

13. *Леман Т. Орошение борозд резания резовых коронок комбайнов избирательного действия // Глюкауф. — 1987. — № 12. — С. 3–13.*

14. *Blickenderfer R., Kelley J., Deardorf D., Copeland M. Festing of coal-cutter materials for incendivity and radiance of sparks / US Bureau of Mines. Report of Investigations 7713. 2002, 23 p.*

15. *Larson D. A., Dellorano V. W., Windquist C. F., Roepke W. W. Preliminary evaluation of bit impact ignitions of methane using a drums-type cutting head / US Bureau of Mines. Report RI 8753. 1983, pp. 48–54.*

16. *Welly G. Prevention of Frictional Ignition With Water. Sprays / Proceedings of the 3rd US Mine Ventilation Symposium. The Pennsylvania State University. 1987, pp. 126–131.*

17. *Mestravick E. G., Barret A. L. Point attack picks on shearer drums-cutting and environment aspects // Colliery Guardian. 1989, vol. 237, no. 1, pp. 7–12.*

18. *Roepke W. W. General methods of primary dust control during cutting // Mining Engineer. 1984, vol. 36, no. 6, pp. 636–644.*

19. *Lacheri M. Lutte contre les risques d'inflammation frictionnelle du grison par les pics de haveuse // Publications Techniques des Charbonnages de France. 1986, vol. 4, pp. 45–59.*


20. *Hurt K. G., Mestravick E. G. High performance shearer drum design // Colliery Guardian. 1988, vol. 236, no. 12, pp. 428–429.*

21. *Collin W. D., Kornecki Y. A. The development and use of diamond picks for longwall shearer of secunda collieries / Mining Productivity Through Reliability and Control. 1985, vol. 1, pp. 153–163.*

22. *Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.*

23. *Смирняков В. В., Смирнякова В. В. Трудноуправляемые факторы в статистике причин аварийных пылегазовых взрывов в угольных шахтах России // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 30–34. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.*

24. *Tripathy D. P., Ala C. K. Risk assessment in underground coalmines using fuzzy logic in the presence of uncertainty // Journal of the Institution of Engineers (India): Series D. 2018, vol. 99, no. 2, pp. 157–163. DOI: 10.1007/s40033-018-0154-7.*

25. *Ботвенко Д. В., Голоскоков С. И., Коптев М. Ю., Татарников Е. П. Автоматические средства локализации взрывов при применении камерно-столбовой системы отработки запасов угля в условиях ООО «УК «Межегейуголь» // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2017. — № 1. — С. 19–30. *

REFERENCES

1. Kabanov E. I., Korshunov G. I., Kornev A. V., Myakov V. V. Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005–2019. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 18–29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.
2. Lipin Yu. I. *Friktsionnoe vosplamnenie pylemetanovozdushnykh smesey i ego preduprezhdenie v ugol'nykh shakhtakh* [Friction ignition of dust-methane-air mixtures and its prevention in coal mines], Doctor's thesis, Kemerovo, 2001, 50 p.
3. Schelter G. Significance of protection against underground explosions in terms of mining supervision. *Gluckauf.* 1989, no. 21/22, pp. 5–9. [In Russ].
4. Peary J. T. Against frictional ignitions associated with coal gutting and funneling. *Mining Engineer.* 2018, vol. 283, pp. 517–522.
5. Kortney W., Salman R., Mandell L., Abcede R. Frictional ignition Problems in US Coal mines. *XIX International Conference of Research Institutes of Safety in Mines.* 2019, papers 11, F 7, pp. 488–494.
6. US Bureau of mines research update. Remote methane detection fire suppression system improved bit design wetland ecosystems for acid mine drainage coal bump studies. *Mining Engineer.* 1987, vol. 39, no. 8, pp. 788–790.
7. Sholl E. V. Occurrence of methane and coal dust explosions and their prevention. *Gluckauf.* 1989, no. 21/22, pp. 9–11. [In Russ].
8. Hartman F. Frictional ignition of gasses by mining machines. *Mining Congress Journal.* 1955, pp. 34–36.
9. Tomas W. G., Datey U. W. The incendiivity of frictional sparks. *Colliery Engineering.* 1963, vol. 40, no. 477, pp. 65–70.
10. Trueman R. A literature review of the ignition of methane – air mixtures by coal – gutting picks. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy.* 1985, vol. 85, pp. 209–215.
11. Botvenko D. V. *Metodologicheskie osnovy prognoza i lokalizatsii vzryvnogo goreniya rudnichnykh gazov pri razrushenii gornyykh porod na ugol'nykh shakhtakh* [Methodological foundations for the prediction and localization of explosive combustion of mine gases during the destruction of rocks in coal mines], Doctor's thesis, Kemerovo, 2020, 47 p.
12. Botvenko D. V., Popov V. B., Ermolaev A. M., Kazantsev V. G. Investigation of the possibility and causes of sparking during deformation and destruction of rocks. *Occupational Safety in Industry.* 2016, no. 10, pp. 62–64. [In Russ].
13. Leman H. Irrigation of furrows for cutting incisor crowns of combine harvesters of selective action. *Gluckauf.* 1987, no. 12, pp. 3–13. [In Russ].
14. Blickenderfer R., Kelley J., Deardorf D., Copeland M. Festing of coal-cutter materials for incendiivity and radiance of sparks. *US Bureau of Mines. Report of Investigations 7713.* 2002, 23 p.
15. Larson D. A., Dellorano V. W., Windguist C. F., Roepke W. W. Preliminary evaluation of bit impact ignitions of methane using a drums-type cutting head. *US Bureau of Mines. Report RI 8753.* 1983, pp. 48–54.
16. Welly G. Prevention of Frictional Ignition With Water. Sprays. *Proceedings of the 3rd US Mine Ventilation Symposium.* The Pennsylvania State University. 1987, pp. 126–131.
17. Mestravick E. G., Barret A. L. Point attack picks on shearer drums-cutting and environment aspects. *Colliery Guardian.* 1989, vol. 237, no. 1, pp. 7–12.
18. Roepke W. W. General methods of primary dust control during cutting. *Mining Engineer.* 1984, vol. 36, no. 6, pp. 636–644.
19. Lacheri M. Lutte contre les risques d' inflammation frictionnelle du grison par les pics de haveuse. *Publications Techniques des Charbonnages de France.* 1986, vol. 4, pp. 45–59.
20. Hurt K. G., Mestravick E. G. High performance shearer drum design. *Colliery Guardian.* 1988, vol. 236, no. 12, pp. 428–429.

21. Collin W. D., Kornecki Y. A. The development and use of diamond picks for longwall shearer of secunda collieries. *Mining Productivity Through Reliability and Control*. 1985, vol. 1, pp. 153–163.

22. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

23. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V. Unhandy factors in statistics of accidental gas and dust explosions in coal mines in Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 1, pp. 30–34. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.

24. Tripathy D. P., Ala C. K. Risk assessment in underground coalmines using fuzzy logic in the presence of uncertainty. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*. 2018, vol. 99, no. 2, pp. 157–163. DOI: 10.1007/s40033-018-0154-7.

25. Botvenko D. V., Goloskokov S. I., Koptev M. Yu., Tatarnikov E. P. Automatic equipment for blast isolation on application of room and pillar mining under JSC «СС «Mezhegej-ugol». *Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2017, no. 1, pp. 19–30. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Линник Юрий Николаевич¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: yn_linnik@guu.ru,

Линник Владимир Юрьевич¹ — д-р экон. наук, доцент, профессор, e-mail: vy_linnik@guu.ru,

Жабин Александр Борисович — д-р техн. наук, профессор, действительный член Академии горных наук, профессор, Тульский государственный университет, e-mail: zhabin.tula@mail.ru,

Поляков Андрей Вячеславович — д-р техн. наук, доцент, эксперт в области промышленной безопасности опасных производственных объектов газоснабжения, Тульское отделение Академии горных наук, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,

¹ Государственный университет управления.

Для контактов: Линник В.Ю., e-mail: vy_linnik@guu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.N. Linnik¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: yn_linnik@guu.ru,

V.Yu. Linnik¹, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Professor, e-mail: vy_linnik@guu.ru,

A.B. Zhabin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Full Member of Academy of Mining Sciences, Professor, Tula State University, 300012, Tula, Russia, e-mail: zhabin.tula@mail.ru,

A.V. Poljakov, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Expert, Tula Branch of Academy of Mining Sciences, 300028, Tula, Russia, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,

¹ State University of Management, 109542, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.Yu. Linnik, e-mail: vy_linnik@guu.ru.

Получена редакцией 23.12.2022; получена после рецензии 03.03.2023; принята к печати 10.03.2023.

Received by the editors 23.12.2022; received after the review 03.03.2023; accepted for printing 10.03.2023.