

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622-1/-9, 622.023

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-17-23

Линник Юрий Николаевич, Линник Владимир Юрьевич*

Государственный университет управления

*E-mail: vy_linnik@guu.ru

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СТЕПЕНИ ЗАТУПЛЕНИЯ ГОРНОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ



Информация о статье

Поступила:

12 октября 2023 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

метан, резец, резание, порода,
взрыв, воспламенение, геомет-
рические параметры, армиру-
ющий материал

Аннотация.

В большинстве случаев причиной взрывов опасных концентраций метана в шахтной атмосфере является фрикционное контактирование резцов с разрушаемым углепородным массивом, о чем свидетельствуют результаты исследований как отечественных, так и зарубежных ученых. Вероятность воспламенения опасных концентраций метан-воздушных смесей наряду с другими факторами зависит от геометрических параметров горнорезающего инструмента, что является одним из дискуссионных вопросов российских и зарубежных исследователей. В этой связи были выполнены исследования, направленные на установление влияния геометрических параметров резцов и степени износа их режущей части на взрывобезопасность при резании. Результаты экспериментов показали, что наличие заднего угла у резцов с твердосплавной арматурой и рост площади затупления по твердому сплаву ведет в целом к увеличению взрывоопасности резцов. Вероятность взрыва с увеличением изнашивания возрастает как для твердосплавных, так и для цельностальных резцов, однако для последних взрывы происходят при значительно более высокой степени затупления режущей части. Вероятность взрыва также возрастает с увеличением диаметра твердосплавного керна поворотных резцов.

Для цитирования: Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Влияние геометрических параметров и степени затупления горнорезающего инструмента на взрывобезопасность их применения // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 6 (170). С. 17-23. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-17-23, EDN: IXXOBW

Введение. Было установлено [1], что за 15 лет на шахтах России в результате взрывов опасных концентраций пыли-метан-воздушных смесей погибли 367 человек. Основное количество взрывов приходилось на шахты Кузбасса, разрабатывающие в основном пласты, опасные по взрывам метана, и имеющие сложное строение, характеризующиеся наличием крепких породных прослоек и твердых включений.

Российский и мировой опыт подземной добычи угля показывает, что одной из основных причин воспламенений опасных концентраций метана в

шахтной атмосфере является фрикционный контакт резцов с разрушаемым углепородным массивом, доля которых практически сопоставима с воспламенениями, связанными с эксплуатацией подземного электрооборудования [2-9]. В этой связи были выполнены исследования по установлению влияния армирующих материалов резцов на взрывобезопасность их применения в метан-воздушной среде. Необходимость постановки исследований в указанном направлении определялась развитием работ, ранее выполнявшихся в ИГД им. А.А. Скочинского совместно с МакНИИ по изысканию новых арми-

Таблица 1. Результаты испытаний резцов с твердосплавным армирующим керном диаметром 9 мм
Table 1. Test results of cutters with a carbide reinforcing core with a diameter of 9 mm.

Характеристика резца	Порядковый номер испытанной пары	Количество срезанных в эксперименте слоев породы	Количество взрывов	Путь резания до первого взрыва в среднем по типу резцов, м	Величина износа резца по оси к моменту взрыва, мм
РГ-401, угол заострения конусной части державки 30°	1	4	4	3,2	0,5
	2	3	3		0,8
Типа РГ-401, угол заострения конусной части державки 20°	1	5	5	3,4	0,6
Резцы с цилиндрическим твердосплавным керном, угол заострения конусной части державки 30°	1	2	1	7,2	0
	2	2	1		0

рующих материалов, способных заменить твердый сплав при создании режущего инструмента.

Основная часть

Анализ публикаций [10-15], показал, что одним из дискуссионных вопросов являются причины воспламенения шахтной атмосферы при фрикционном контакте режущего инструмента с разрушаемым массивом. В этой связи были выполнены исследования о влиянии геометрии инструмента на взрывоопасность их применения при резании породы в метан-воздушной среде. Эксперименты проводились на специально изготовленном стенде, представляющем собой взрывную камеру, в которую помещен вращающийся диск с двумя сменными резцами и неподвижный стол с закрепленным на нем породным блоком. Для регистрации параметров экспериментов стенд оснащался узлами для инициирования контрольного взрыва, контроля потребляемой мощности и содержания метана в камере. Исследования проводились применительно к поворотным тангенциальным резцам, которые в настоящее время получили наибольшее применение на очистных и проходческих комбайнах в условиях, характеризующихся наличием крепких породных прослоек, твердых включений, т.е. там, где вероятность фрикционного искрения резцов и воспламенения метана наиболее высока.

Основными параметрами резцов, составляющими предмет исследований, являлись:

- угол заострения конусной части державки резца;
- диаметр твердосплавного керна;
- форма выступающей части твердосплавного керна;
- форма армирующего твердосплавного элемента керна, обеспечивающего защиту стальной державки от контакта с породой.

В процессе исследований были испытаны:

1. Резцы типа РГ-401, у которых угол заострения конусной части державки составлял 30° и 20°;

2. Резцы с цилиндрическим твердосплавным керном диаметром 9 мм и углом заострения державки 30°;

3. Резцы с цилиндрическими твердосплавными кернами диаметром 3, 4, 5, 6, 7 и 8 мм при угле заострения державки 20°;

4. Резцы, в качестве режущей части которых применялся твердосплавный конусный наконечник. У таких резцов в контакте с разрушаемым породным блоком в плоскости резания находился только вольфрам-кобальтовый твердый сплав;

5. Цельные стальные резцы, режущая часть которых была изготовлена в виде конуса (угол при вершине 70°, диаметр основания 40 мм), переходящего в цилиндр высотой 27 мм.

Хвостовики всех испытуемых резцов по форме и размерам были такие же, как и у РГ-401.

Исследования влияния параметров инструмента на взрывоопасность их применения проводились не только с целью изучения влияния начально заданных различий геометрии резцов, но и в связи с изменением их геометрических параметров в процессе резания породы. В этой связи наряду с основным критерием оценки взрывоопасности резцов – путем резания до первого взрыва, который является наиболее значимым, дополнительно оценивались:

- путь L_i от начала резания i -го слоя породы данной парой резцов до взрыва при перерезании этого слоя;
- наличие или отсутствие взрыва при срезании каждого слоя породы испытуемыми резцами.

Такую оценку, характеризующую стабильность процесса, получали сопоставлением количества срезанных слоев породы и числа инициированных взрывов метан-воздушной смеси во взрывной камере.

Результаты серий экспериментов, включающие оценку взрывоопасности резцов с армировкой в виде твердосплавного керна диаметром 9 мм, приведены в Таблице 1.

Сравнение результатов испытаний резцов с коническими кернами диаметром 9 мм и различными углами заострения стальной державки позволяет сделать вывод о том, что площадь контакта с разрушаемым массивом по стальной державке при одинаковом диаметре твердосплавного керна не определяет взрывоопасность инструмента: значения пути до первого взрыва в сравниваемых испытаниях 3,2 м и 3,4 м можно считать равнозначными.

Как видно из Таблицы 1, цилиндрический керн при прочих равных условиях предпочтительнее конического с точки зрения снижения взрывоопасности применения при резании пород, поскольку путь резания до первого взрыва у резцов с цилиндрическим керном составляет 7, 2 м против 3,2 м у резцов с коническим керном. Линейный износ по образующей керна у сравниваемых конструкций резцов в моменты первого взрыва был соизмерим и составлял для конического исполнения керна 4,2 мм, а для цилиндрического – 3,7 мм.

Для широко применяемых при добыче угля резцов РГ-401 с углом заострения 90^0 в силу отсутствия заднего угла контакт твердосплавного керна с породой приходится на всю длину образующей конусной части инструмента. Для резца с цилиндрическим керном и задним углом 45^0 первоначально контакт с разрушаемым массивом приходится на ребро основания цилиндра. По мере изнашивания керна площадь контакта увеличивается, достигая в предельном состоянии формы, абсолют-

породой как об основном факторе, определяющем в данном случае различие взрывоопасности сравниваемых вариантов армировки резцов. В этой связи для дальнейшего исследования этого вопроса были изготовлены и испытаны резцы:

- упомянутые выше в п. 4 с режущей частью в виде массивного твердосплавного конического наконечника, угол заострения которого составлял 50^0 с диаметром основания 30 мм;

- упомянутые в п. 3 с диаметром твердосплавных кернов цилиндрической формы от 3-х до 8 мм и углом конусной части державки 20^0 .

Результаты испытаний резцов, армированных массивным твердосплавным коническим наконечником (п. 4), приведены в Таблице 2.

Данные в колонках 8, 9 и 10 таблицы приведены для сопоставления параметров затупления со взрывоопасностью резцов, которые позволяют проанализировать изменение пути резания от начала опыта до взрыва (колонка 10) при резании резцом с различной степенью затупления, параметры которого оцениваются износом по оси резца (колонка 8) и по образующей его конусной части (колонка 9).

Сравнение результатов испытаний первой и второй пар резцов показывает, что взрывоопасность процесса резания снижается с ростом потребляемой мощности: путь резания до первого взрыва снизился более чем в два раза у второй испытанной пары, средняя мощность на резание ко-

Таблица 2. Результаты испытаний резцов, армированных массивным твердосплавным коническим наконечником

Table 2. Test results of cutters reinforced with a massive carbide conical tip

Порядко- вый номер испытанной пары	Число срезанных слоев по- роды	Число взрывов	Путь резания (м) до первого взры- ва:		Средняя потребля- емая на резание мощ- ность, кВт	Износ резца по оси к моменту первого взрыва, мм	Параметры затупления и взры- воопасность		
			дан- ной пары резцов	в сред- нем по данному типу резцов			Износ резца (мм):		Путь от начала резания <i>i</i> -го слоя до взрыва, м
							по оси	по образующей твердосплавного конуса	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	3	8,0	5,7	0,41	1,3	1,3	2,5	8,0
							3,2	5,2	6,3
							3,3	5,5	2,7
2	3	3,4	1,00		1,7	1,7	3,0	3,4	
						3,8	6,0	1,3	
						4,7	6,0	1,0	

но идентичной резцу с конической армировкой. Таким образом, можно полагать, что преимущества цилиндрического керна на первой стадии работы инструмента обусловлены влиянием заднего угла, наличие и величина которого, как считает В. Роепке в своей публикации [14], являются одними из решающих факторов, определяющих взрывоопасность инструмента при резании. Нам же представляется, что физически правомочней говорить о площади контакта твердого сплава с разрушаемой

торой составляла 1 кВт в сравнении с 0,4 кВт для первой пары.

Данные Таблицы 2 свидетельствуют о следующем:

1. Наличие заднего угла у резцов с твердосплавной армировкой обеспечивает постепенный рост площадки затупления до критической, увеличивая тем самым путь до первого взрыва в сравнении с серийным резцом РГ-401;

2. Рост площадки затупления по твердому сплаву ведет в целом к увеличению взрывоопасности резцов, что прослеживается при сравнении данных колонок 9 и 10 Таблицы 2.

Износ по образующей твердосплавного конуса является мерой площадки затупления резца данного типа. Увеличение этого параметра как в первой, так и во второй паре резцов примерно в два раза привело к снижению пути резания от начала опыта до взрыва: для первой пары с 8,0 м до 2,7 м, для второй – с 3,4 м до 1,0 м.

При оценке взрывоопасности процесса резания по величине пути резания до первого взрыва в зависимости от диаметра твердосплавного керна (при одинаковой мощности) в ходе эксперимента были получены следующие результаты:

Диаметр керна, мм	3	4	5	7	8	9
Путь резания до первого взрыва, м	Нет взр	Нет взр	48,2	13,4	9,5	1,7

Полученные данные подтверждают полученный выше вывод о существенном влиянии площадки затупления по твердому сплаву на взрывобезопасность применения резцов.

Для оценки стабильности полученных результатов была построена зависимость вероятности взрыва метан-воздушной смеси от диаметра твердосплавного керна (Рис. 1). При этом вероятность взрыва оценивалась в %, как отношение количества взрывов к числу опытов, проведенных с данным типом резцов, причем последняя величина у всех сравниваемых типов резцов была одинакова

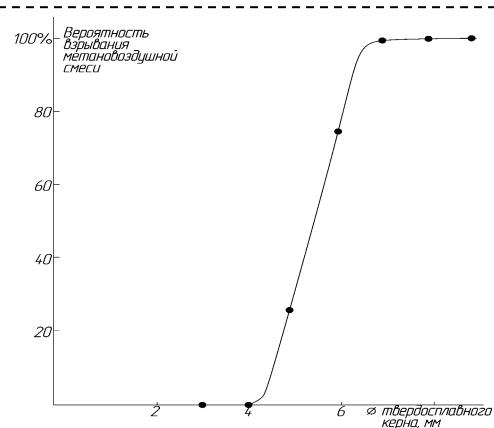


Рис. 1. Зависимость вероятности взрыва от диаметра керна

Fig. 1. Dependence of explosion probability on core diameter

и составляла 8 опытов.

Результаты, полученные в этой серии опытов, показывают, что при диаметрах керна менее 4 мм взрывобезопасность резания в метановоздушной среде устойчиво обеспечивается – взрыва не последовало ни в одном опыте. Напротив, вероятность взрывобезопасности равна нулю при резании резцом, армированным керном диаметром 7 мм – здесь взрыв происходил во всех опытах. Переходная зона при диаметрах от 4-х до 7 мм характеризуется переменной вероятностью взрыва, которая возрастает по мере увеличения диаметра керна.

В процессе исследования взрывобезопасности применения резцов, армированных твердосплавными кернами, было установлено, что помимо ве-

Таблица 3. Результаты испытаний цельностальных резцов

Table 3. Test results for all-steel cutters

Характеристика резца	Номер ис- пытания	Число сре- занных сло- ев блока по- роды	Число взрывов	Путь резания до первого взрыва в среднем по типу резца, м	Износ резца, мм		Путь от начала ре- зания до первого взрыва, м
					по оси	по образу- ющей	
Сталь 40X	1	22	2	55	5,8	19,5	Нет взрыва
					7,5	15,4	То же
					8,4	15,9	То же
					9,2	16,8	То же
					10,0	19,5	60,5
	2	17	2		11,0	20,0	12,6
					7,7	16,2	Нет взрыва
					9,8	21,2	То же
					10,9	22,1	51,1
					11,3	26,5	26,8
Сталь 40X	1	11	2	33,5	7,1	15,9	Нет взрыва
					8,9	17,0	24,7
					9,4	18,3	1,1
	2	10	1		6,4	13,5	Нет взрыва
					8,7	17,3	То же
					9,4	18,8	42,2
РГ-401	1	3	3	3,6	0,3	-	3,8
	2	5	5		0,6	-	3,4

личины контакта (площадки затупления) твердого сплава с породой, определяемой диаметром керна, на взрывоопасность существенное влияние оказывает длина пути непрерывного контакта резца с разрушаемой породой. Проанализированные выше результаты влияния диаметра керна на взрывоопасность были получены при резании породных блоков, ширина которых (размер, определяющий длину пути непрерывного контакта резца с породой) не превышала 10-15 см. При переходе на резание более широких блоков (20 см) взрывы метановоздушной смеси имели место во всех случаях независимо от диаметра керна. Полученное различие объясняется тем, что при относительно небольшой длине непрерывного контакта резца с породой горячее пятно контакта не успевает нагреться до взрывоопасной температуры. По мере увеличения пути непрерывного контакта температура пятна растет и при достижении критического значения вызывает взрыв. Полученный результат очень важен в практическом отношении, поскольку такие ситуации могут возникать при разрушении пластов сложного строения, содержащих крепкие породные прослойки и твердые включения.

Наряду с исследованиями влияния геометрии резцов, армированных твердым сплавом, были проведены испытания цельностальных резцов изготовленных из сталей марок 40XH и 40X. Цель испытаний – установить влияние затупления резца на его взрывобезопасность при отсутствии твердосплавной армировки. Для этого необходимо было сконструировать режущую часть резцов таким образом, чтобы значение затупления стальных резцов, постепенно нарастая в процессе резания блока, превысило бы значение, соответствующее предельному затуплению серийных резцов типа РГ-401 с диаметром державки 25 мм. Стальные резцы обеих марок имели массивную режущую часть в виде конуса с углом заострения 70° , переходящего в цилиндр диаметром 40 мм.

Результаты испытаний стальных резцов в сравнении с резцом РГ-401, армированным твердым сплавом, приведены в Таблице 3.

Приведенные в Таблице 3 результаты испытаний сводятся к следующему:

1. Сохраняется закономерность роста взрывоопасности резцов с увеличением степени их затупления;

2. Получены предельные значения затупления (износа) по оси и образующей, при которой изношенный стальной резец становится причиной инициирования взрывов метан-воздушной смеси. Эти значения в области 8,9 – 10,9 мм (17-22 мм по образующей) существенно выше, чем для резцов РГ-401, армированных твердым сплавом, и лежат на границе значений, которые могут быть достигнуты при износе стальной державки диаметром 25 мм.

Выводы

1. Для обеспечения повышения взрывобезопасности область применения режущего инструмента, армированного твердосплавными кернами диаметром порядка 4-7 мм, должна ограничиваться пла-

стами, содержащими породные прослойки и твердые включения мощностью не более 10 см.

2. В результате исследований взрывобезопасности процесса резания коническими резцами установлена перспективная область поиска основного геометрического параметра армировки поворотных резцов (диаметра керна), обеспечивающего повышенную взрывобезопасность – это диаметры не более 5 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанов Е. И., Коршунов Г. И., Корнев А. В., Мягков 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. 16–19.
2. Липин Ю. И. Фрикционное воспламенение пылеметановоздушных смесей и его предупреждение в угольных шахтах: дис. ...д-р техн. наук / Ю. И. Липин. Кемерово, 2001. 268 с.
3. Шельтер Г. Значение защиты от подземных взрывов с точки зрения горного надзора // Глюкауф. 1989. № 21/22. С. 5–9.
4. Thakur P. Prevention of Frictional Ignitions. // Advanced Mine Ventilation. 2019. Pp. 363–375/ <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100457-9.00022-5/>
5. Cheng, Lung, Aldo L. Furno, Welby G. Courtney. Reduction in frictional ignition due to conical coal-cutting bits. N.p., 1987. Print.
6. Peary J. T. Against Frictional Ignitions Associated with Coal Gutting and Funneling. // Mining Engineer. 2018. №283. Pp. 517–522.
7. 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, 5-13. October 2019. P. 11, F 7. Pp. 488–494.
8. US Bureau of Mines Research Update. Remote Methane Detection Fire Suppression System Improved Bit Design Wetland Ecosystems for acid Mine Drainage Coal Bump Stadies // The Mining Engineer. 1987. V. 39. №8. Pp. 788–790.
9. Шолль Э. В. Возникновение взрывов метана и угольной пыли и их предотвращение // Глюкауф. 1989. №21/22. С. 9–11.
10. Леман Х. Орошение борозд резания резцовых коронок комбайнов избирательного действия // Глюкауф. 1989. №12. С. 3–13.
11. 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.
12. Welly G. Prevention of Frictional Ignition With Water. Sprays. – Procudings of the 3 rd. // Mine Ventilation Symposium. October 12-14. The Pennsylvania State University. University Park, Pennsylvania. 1987. Pp. 126–131.
13. Mestravick E. G., Barret A. L. Point Attack Picks on shearer Drums-cutting and Environment Aspects // Colliery Guardian. 1989. V. 237. №1. Pp. 7–12.

14. Roepke W. W. General Methods of Primary Dust Control During Cutting // The Mining Engineer. Yune 2017. Pp. 636–644.

15. Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Поляков А. В. Анализ причин воспламенения мета-

на при фрикционном контакте резцов с породой. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №4. С. 67–77.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Линник Юрий Николаевич, доктор техн. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет управления», (Российская Федерация г. Москва, Рязанский проспект, 99)

Линник Владимир Юрьевич, доктор экон. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет управления», (Российская Федерация г. Москва, Рязанский проспект, 99), e-mail: vy_linnik@guu.ru

Заявленный вклад авторов:

Линник Юрий Николаевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Линник Владимир Юрьевич – сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, научный менеджмент, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-17-23

Yuri N. Linnik, Vladimir Yu. Linnik *

State University of Management

*E-mail: vy_linnik@guu.ru

REGULARITIES OF FORMATION OF MAXIMUM LOADS ON CUTTERS AND EXECUTIVE ENGINES OF COAL MINING MACHINES



Article info

Received:

12 October 2023

Accepted for publication:

30 November 2023

Accepted:

01 December 2023

Published:

21 December 2023

Keywords: coal, cutter, executive body, coal mining machine, solid inclusions, cutting force, maximum loads, cutting

Abstract.

The destruction of coal seams of complex structure containing strong heterogeneities (solid inclusions and strong rock layers) is accompanied by the action of dynamic loads on the cutters of the executive bodies of coal mining machines, causing a decrease in the productivity of the coal extraction process and premature failure of their components and elements. To correctly select the operating modes of coal mining machines and perform calculations related to determining the required strength of cutters and transmission elements, it is necessary to take into account the level and nature of the occurrence of peak (maximum) loads occurring on the cutters during the destruction of layers of complex structure. In this regard, the first part of the article presents the results of experimental studies of the influence of cutting process parameters and geometric parameters of the cutting tool on loads for different types of interaction of cutters with solid inclusions. It has been established that when a cutter cuts through an inclusion and touches it, the dimensions of the latter have virtually no effect on the magnitude of the peak load. On the contrary, for cases of pullout, the magnitude of the peak cutting force significantly depends on the size and configuration of the inclusion, as well as the brittle-plastic properties of coal, which determine the nature of the connection between the inclusion and the massif. It has been established that of all types of interaction be-

resistance, chip thickness and width.

tween a cutter and a solid inclusion, the greatest loads arise during their central cutting. Peak and average peak values of cutting and feed forces were determined for cases of central cutting of the most common carbonate inclusions with a sharp and blunt cutter. Calculation dependencies are proposed to determine the maximum loads on the cutters and the time of their action as a function of the operating parameters of the cutting process, the design and geometric parameters of the cutters.

For citation: Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Regularities of formation of maximum loads on cutters and executive engines of coal mining machines. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 6(170):17-23 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-17-23, EDN: IXXOBW

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. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(2–1):18–29.
2. Lipin Yu.I. Frictional ignition of dust-methane-air mixtures and its prevention in coal mines – Kemerovo. 2001. 268 p.
3. Schelter G. Significance of protection against underground explosions in terms of mining supervision. *Gluckauf*. 1989; 21/22:5–9. [In Russ].
4. Thakur P. Prevention of Frictional Ignitions. // *Advanced Mine Ventilation*. 2019. Pp. 363–375. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100457-9.00022-5>
5. Cheng, Lung, Aldo L. Furno, Welby G. Courtney. Reduction in frictional ignition due to conical coal-cutting bits. N.p., 1987. Print.
6. Peary J.T. Against Frictional Ignitions Associated with Coal Gutting and Funneling. *Mining Engineer*. 2018; 283:517–522.
7. 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*, 5–13. October 2019. Papers 11, F 7. Pp. 488–494.
8. US Bureau of Mines Research Update. Remote Methane Detection Fire Suppression System Improved Bit Design Wetland Ecosystems for acid Mine Drain-

age Coal Bump Studies. *The Mining Engineer*. 1987; 39(8):788–790.

9. Sholl E.V. Occurrence of methane and coal dust explosions and their prevention. *Gluckauf*. 1989; 21/22:9–11. [In Russ].

10. Leman H. Irrigation of furrows for cutting incisor crowns of combine harvesters of selective action. *Gluckauf*. 1987; 12:3–13. [In Russ].

11. 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.

12. Welly G. Prevention of Frictional Ignition With Water. Sprays. – *Proceedings of the 3 rd. Mine Ventilation Symposium*. October 12-14. The Pennsylvania State University. University Park, Pennsylvania. 1987. Pp. 126–131.

13. Mestrovick E.G., Barret A.L. Point Attack Picks on shearer Drums-cutting and Environment Aspects. *Colliery Guardian*. 1989; 237(1):7–12.

14. Roepke W.W. General Methods of Primary Dust Control During Cutting. *The Mining Engineer*. 2017. Pp. 636–644.

15. Linnik Yu.N., Linnik V.Yu., Zhabin A.B., Poljakov A.V. Causes of methane inflammation in frictional rock-cutting tool contact. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023; (4):67–76.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Yuri N. Linnik, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Federal state educational institution of the higher-education «State University of Management», (Russian Federation, Moscow, Ryazansky pr, 99)

Vladimir Yu. Linnik, Dr. Sc. in Economy, Associate Professor, Federal state educational institution of the higher-education «State University of Management», (Russian Federation, Moscow, Ryazansky pr, 99), e-mail: vy_linnik@guu.ru

Contribution of the authors:

Yuri N. Linnik – setting a research task, conceptualizing research, writing a text.
Vladimir Yu. Linnik – data collection and analysis, review of relevant literature, scientific analysis, conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.

