

Методика оценки безопасных расстояний при взрывах колес автосамосвалов на карьерах

С.С. Кобылкин✉, И.Е. Аржанов

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация
✉kobylikin.s@misis.ru

Резюме: При возникновении пожаров на карьерных автосамосвалах существенно возрастает риск взрыва колёс. Для тушения горной техники члены вспомогательных горноспасательных команд и горноспасатели подходят на небезопасное расстояние. Взрыв колеса приводит к целому ряду дополнительных поражающих факторов, которые могут привести к серьезным травмам или к гибели людей. Исследования показали, что в первую очередь это баротравмы, травмы глаз, а также общие повреждения, вызванные попаданием элементов разрушенных колес. Для обеспечения безопасности аварийно-спасательных работ на разрезах и карьерах требуется методика расчета безопасных расстояний. Предложенная методика оценки безопасных расстояний, разработанная из условий взрыва сосудов под давлением, позволит снизить риск получения травмы горноспасателей и членов вспомогательных горноспасательных команд. Представленный в исследовании анализ таких травм как временная потеря слуха, разрыв барабанных перепонок, контузия головного мозга, потеря сознания, повреждение внутренних органов, вывихи, переломы конечностей и других видов травм, которые полученные при взрыве колес, позволят обосновать применение существующих средств защиты или разработать новые.

Ключевые слова: безопасность, карьер, взрыв, колесо, автосамосвал, пожар, горноспасательное дело

Для цитирования: Кобылкин С.С., Аржанов И.Е. Методика оценки безопасных расстояний при взрывах колес автосамосвалов на карьерах. *Горная промышленность*. 2021;(3):123–129. DOI 10.30686/1609-9192-2021-3-123-129.

Methodology for assessing safe distances in case of explosions of dump truck tyres in open pit

S.S. Kobylikin✉, I.E. Arzhanov

National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation
✉kobylikin.s@misis.ru

Abstract: A fire of a mining dump truck increases the risk of tyre explosion. Mining equipment is extinguished by auxiliary mine rescue crew and mine rescuers who approach it at an unsafe distance. A tyre explosion creates a number of additional hazards that can lead to serious injury or loss of life. Studies indicate that such injuries primarily include barotrauma, eye and general bodily injuries caused by the impact of destroyed wheel elements. A methodology for calculating safe distances is required to ensure the safety of rescue work in open pit mines and quarries. The proposed methodology for estimating safe distances, which was developed based on conditions of a pressure vessel explosion, will reduce the risk of injuries to mine rescuers and members of auxiliary mine rescue crews. The use of existing protective equipment or development of new ones is justified by the presented analysis of injuries such as temporary loss of hearing, eardrum ruptures, brain contusions, loss of consciousness, internal injuries, dislocations, broken limbs and other types of injuries that are caused by tyre explosions.

Keywords: safety, open pit, explosions, dump truck, wheel, fire, mine rescue

For citation: Kobylikin S.S., Arzhanov I.E. Methodology for assessing safe distances in case of explosions of dump truck tyres in open pit. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(3):123–129. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2021-3-123-129.

Введение

Крайне опасное событие на карьерах, где используются большегрузные автосамосвалы, – взрывы их колёс. Произойти это может во время замены и монтажа колеса, а также во время пожара при тушении карьерного автосамосвала. Члены вспомогательных горноспасательных команд и горноспасатели, участвующие в тушении пожара, зачастую забывают о возможности возникновения такой аварии [1].

Взрыв колеса карьерного автосамосвала во время его тушения может произойти по одной из представленных ниже причин или их совокупности:

- повышенное давление в колесе из-за увеличения его температуры [2];
- прогорание части наружного резинового покрытия;
- деформации запорного кольца колеса вследствие возгорания [3];
- резкий перепад температуры колёс в процессе тушения;
- неправильные условия и сроки эксплуатации колёс;
- износ или повреждение колёс.

Для минимизации профессиональных рисков и уменьшения последствий взрыва необходимо провести анализ возможных травм, характерных для взрывов колёс, определить безопасное расстояние от автосамосвала для горноспасателей в процессе тушения, а также произвести оценку возможности установки [4] и экипировки дополнительных средств защиты в случае аварии.

В целом вопросам безопасности посвящено большое количество исследований ведущих ученых и специалистов [5–7]. Однако работ, посвященных вопросам обеспечения безопасности при взрывах колес автосамосвалов, практически нет.

Анализ травматизма при взрыве колёс

По данным исследований [8; 9], наибольшую опасность для здоровья человека в случае взрыва колеса представляют мелкие металлические части конструкции шины и осколки высокоплотной резины, разлетающиеся с большой скоростью в разные стороны. Так, до 80% всех травм приходится на верхнюю часть тела человека, в частности, на голову и шею, являющиеся наиболее уязвимой зоной, повреждение которой с большой вероятностью может привести к летальному исходу.

Высокая кинетическая энергия осколков после взрыва приводит к тому, что мельчайшие металлические и резиновые части конструкции колеса могут попасть в глаза, что приведет к серьёзным нарушениям зрительных функций человека. Опасность заключается не только в прямом повреждении внутриглазных структур, но также в возможности возникновения и развития таких болезней, как эндофтальмит и металлоз. Диагностирование такой травмы зачастую затягивается, в связи с тем что травмированный работник может не сразу заметить изменения в состоянии своего здоровья [10].

Другие возможные травмы зрительных органов в случае попадания мелких осколков представляют собой следующий перечень: орбитальная эмфизема, тупое повреждение глаза, кровотечение под конъюнктивой.

На рис. 2 представлен пример повреждения века и проникновения инородного тела в глазную впадину, повлекшее за собой необходимость выполнения операции по извлечению. Такая клиническая картина является одной из самых распространённых.

Ещё одной опасностью является ударно-воздушная волна, возникающая в момент взрыва колеса карьерного автосамосвала и вызывающая различные баротравмы у членов

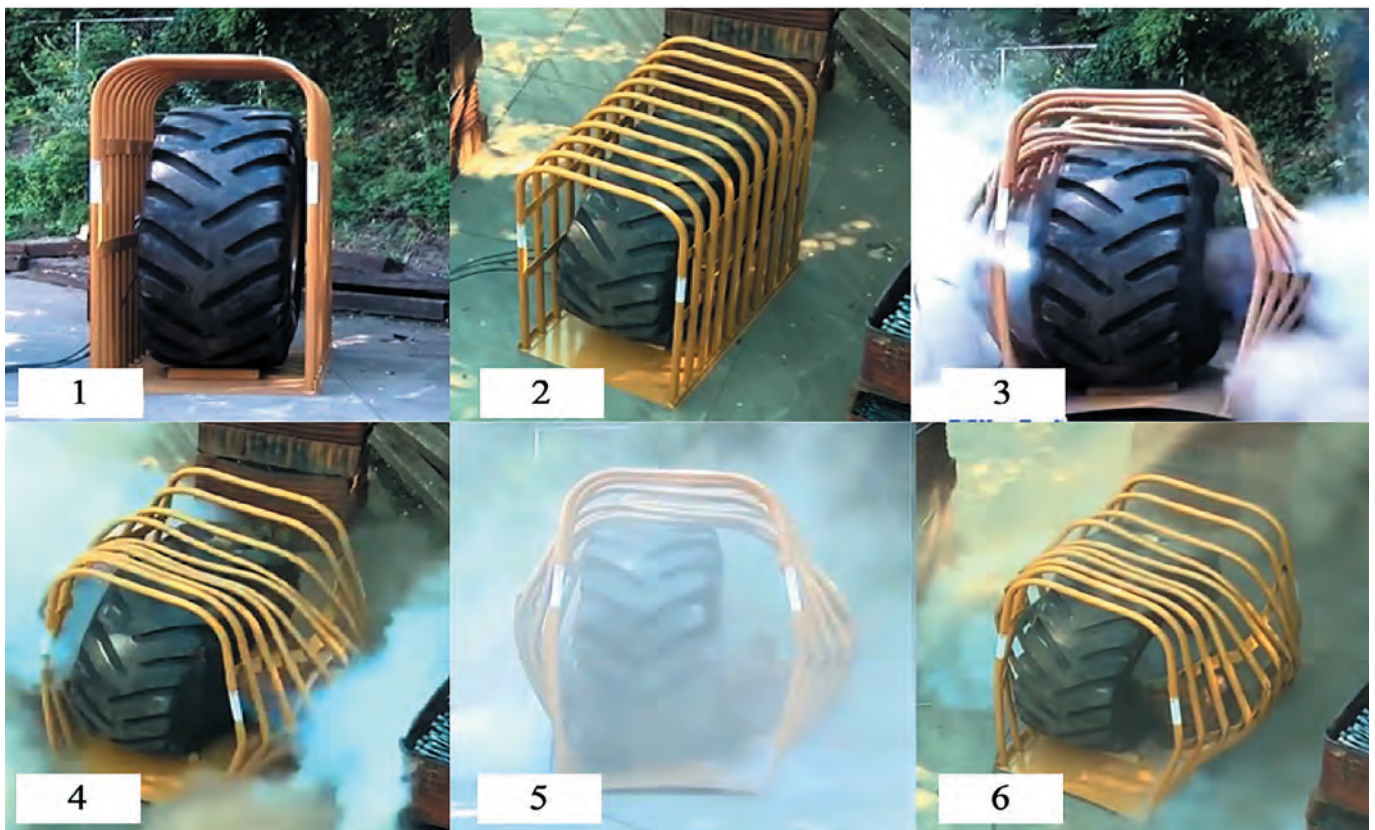


Рис. 1
Раскадровка взрыва колеса автосамосвала

Fig. 1
Storyboard of a dump truck tyre explosion in an open pit

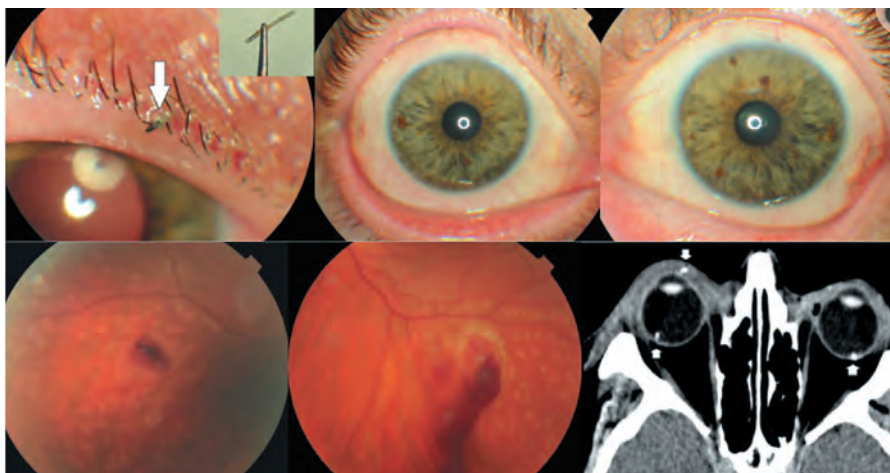


Рис. 2
Травмы глаз при взрыве шин [10]

Fig. 2
Eye injuries caused by tyre explosions [10]

вспомогательных горноспасательных команд и горноспасателей, участвующих в процессе тушения.

Безопасное давление во фронте ударно-воздушной волны для человека оценивается в 10 кПа и меньше. Давление, превышающее данный показатель, влечёт за собой такие травмы, как: ушибы, временная потеря слуха, контузия и вывихи, повреждение органов слуха, кровотечение из ушей и носа, контузия головного мозга или всего организма, разрыв барабанных перепонок, потеря сознания, повреждение внутренних органов и переломы конечностей (рис. 3). Заканчивается этот перечень возможностью

смертельного исхода, которая возникает при давлении от 100 кПа и выше. Смертельное поражение со 100%-ной вероятностью наступит при воздействии на человека давления в 300 кПа и более.

Отмечается возможное поднятие пыли и резкий выброс компонентов горения в сторону участвующих в тушении пожара, что может повлечь за собой дезориентацию, удушье и даже потерю сознания. Реальный пример возникновения такой опасности в момент взрыва колеса представлен на рис. 4.

Вторичная нейротравма, вызванная взрывом (открывая травма головы)



Первичная нейротравма, вызванная взрывом (без прямого удара по голове)



- передача кинетической энергии в ЦНС
- гипоксия/ишемия, вызванная повреждением лёгких
- гипоксия/ишемия, вызванная кровотечением
- выделение гормонов из повреждённой ткани

Третичная опасность от взрыва (Столкновение с другими объектами)



Повреждение затылочной части головного мозга



Повреждение лобных долей головного мозга

Вторичная опасность взрыва (Импульсное движение за счёт силы взрыва)

Первичные опасности взрыва (Воздействие УВВ, осколки, экстремальная температура)

Третичная нейротравма (затылочно-лобное сотрясение мозга от удара)

Рис. 3
Виды травм внутренних органов

Fig. 3
Types of internal injuries

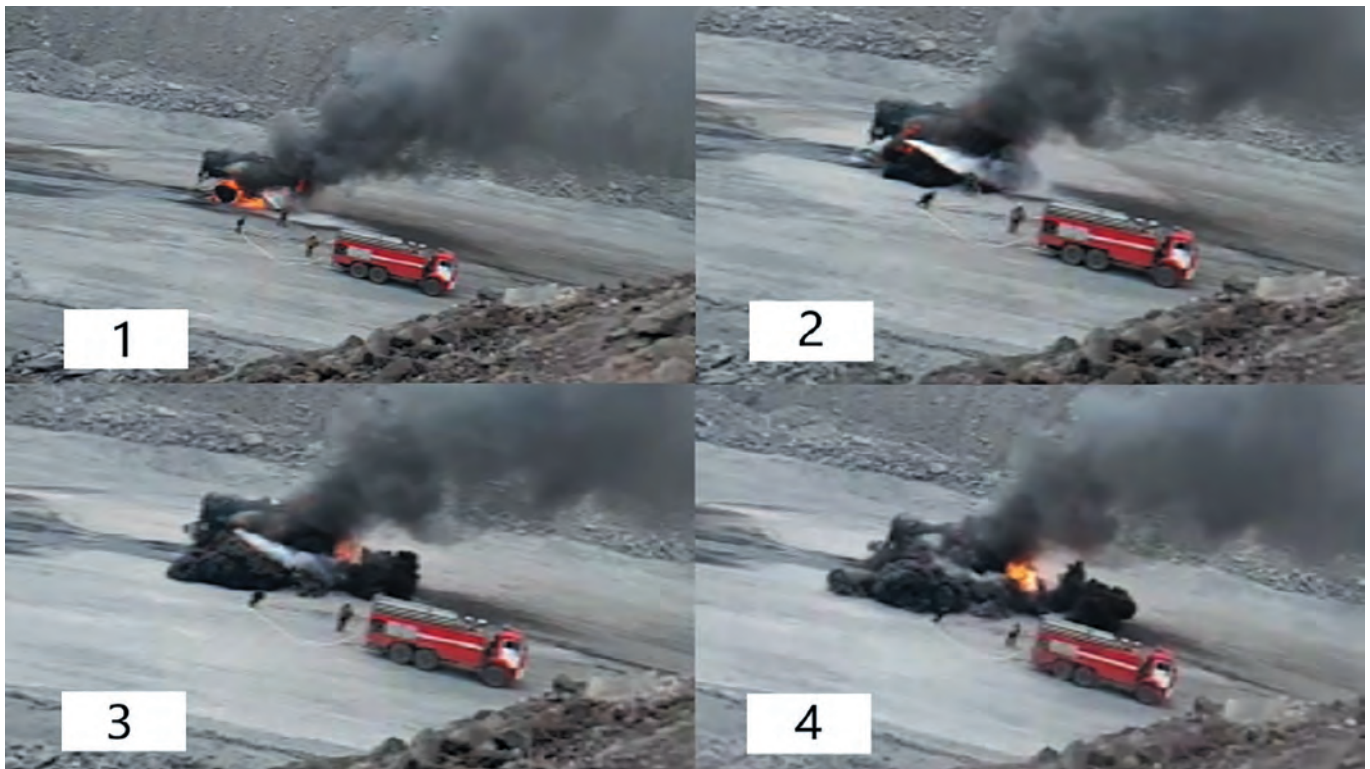


Рис. 4
Раскадровка взрыва колеса на карьере

Fig. 4
Storyboard of a tyre explosion in an open pit

Методика расчета безопасных расстояний при взрыве колес

Для определения безопасных расстояний взрыв колеса карьерного автосамосвала будет считаться как взрыв ёмкости, находящейся под давлением, разрушение которой сопровождается быстрым расширением газа с образова-

нием ударной волны и поля осколков. Методика расчёта безопасных расстояний при взрыве колёс представлена в табл. 1.

В табл. 2 представлен расчёт безопасных расстояний для человека от взрыва по действию УВВ и разлёту осколков в

Таблица 1
Методика расчёта безопасных расстояний при взрыве колёс

Table 1
Methodology for calculating safe distances in case of tyre explosion

№	Описание действия	Расчётная зависимость и пример
1	Расчёт объёма колеса	$V = \frac{h \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$ <p>где V – объём колеса, м³; h – ширина колеса, м; D – внешний диаметр колеса с вычетом глубины протектора, м; d – внутренний диаметр колеса, м.</p> <p>Для шины 33R51 Goodyear RM-4A+E-4 БелАЗ 7513 $h = 0,942$ м, $D = 3,063 - 0,088 = 2,975$ мм, $d = 1,295$ мм,</p> $V = \frac{0,942 \cdot 3,14 \cdot (2,975^2 - 1,295^2)}{4} = 5,31 \text{ м}^3$
2	Расчёт энергии взрыва	$E = \frac{P_r \cdot V}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_r} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$ <p>где E – энергия взрыва шины, Дж; P_r – давление газа в шине (в расчётах принимается равным 706078 Па); P_0 – атмосферное давление (101325 Па); V – объём колеса, м³; γ – значение показателя адиабаты (для воздуха, азота и кислорода принимается равным 1,4).</p> $E = \frac{706078 \cdot 5,31}{1,4 - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{101325}{706078} \right)^{\frac{1,4 - 1}{1,4}} \right] = 3990448 \text{ Дж}$
3	Расчёт массы эквивалентного заряда	$G_3 = \frac{k_{УВВ} \cdot E}{Q \cdot V_{ТНТ}}$ <p>де G_3 – масса эквивалентного заряда, кг; $k_{УВВ}$ – коэффициент, учитывающий количество энергии взрыва, переходящей в УВВ (в расчётах принимается равным 0,6); $Q \cdot V_{ТНТ}$ – теплота взрыва тротила (4,5·10⁶ Дж/кг).</p> $G_3 = \frac{0,6 \cdot 3990448}{4,5 \cdot 10^6} = 0,532 \text{ кг}$

4	<p>Расчёт безопасного для человека расстояния от места взрыва по действию УВВ (данное кубическое уравнение решается по методу Кардано, также можно использовать on-line калькулятор)</p> $\Delta P_{cp} = 95 \cdot \frac{\sqrt[3]{G_3}}{R} + 390 \cdot \frac{\sqrt[3]{G_3^2}}{R^2} + 1300 \cdot \frac{G_3}{R^3},$ <p>где ΔP_{cp} – безопасное для человека избыточное давление во фронте ударной волны (10 кПа); R – безопасное для человека расстояние от места взрыва по действию УВВ, м</p> $10 = 95 \cdot \frac{\sqrt[3]{0,532}}{R} + 390 \cdot \frac{\sqrt[3]{0,532^2}}{R^2} + 1300 \cdot \frac{0,532}{R^3} \quad (R = 10,77 \text{ м})$
5	<p>Расчёт начальной скорости полёта осколков</p> $V_0 = \sqrt{\frac{k_0 \cdot E}{M}},$ <p>где V_0 – начальная скорость полёта осколков, м/с; k_0 – коэффициент, учитывающий количество энергии взрыва, передающейся осколкам (в расчётах принимается равным 0,4); M – суммарная масса осколков, равная массе шины, кг. (Для шины 33R51 Goodyear RM-4A+E-4 БелАЗ 7513 принимается равной $M = 2330$ кг).</p> $V_0 = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 4080627}{2330}} = 26,46 \text{ м/с}$
6	<p>Расчёт дальности разлёта осколков колеса</p> $L = \frac{V_0^2}{g},$ <p>где L – дальность разлёта осколков колеса, м; g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).</p> $L = \frac{26,46^2}{9,81} = 71,48 \text{ м}$

Таблица 2
Безопасные расстояния от взрыва для человека

Table 2
Safe distance from explosion for humans

Модель самосвала	Грузоподъёмность, т	Размер шин		Средняя масса одной шины, кг	Безопасное расстояние от взрыва для человека	
		ширина профиля, дюйм	диаметр обода, дюйм		по действию УВВ, м	разлёту осколков, м
БелАЗ 7540	30	18	25	440	5,68	102,5
БелАЗ 7547	42–45	21	33	580	5,9	90
БелАЗ 7545	45	21	35	590	7,1	73,5
БелАЗ 7555	55–60	24	35	830	7,43	72
БелАЗ 7557, 7558	90	27	49	1300	8,7	65
БелАЗ 7513	110–130	33	51	2200	10,8	71,5
БелАЗ 7517	160	36	51	2800	11,9	90,5

зависимости от основных моделей карьерных автосамосвалов, использующихся в местах открытых горных работ. Для вычислений были взяты шины марок: BRIDGESTONE, GOODYEAR, MICHELIN и БЕЛШИНА.

При использовании методики в реальных условиях рекомендуется сделать отдельные расчёты для каждой модели шин, используемых на предприятии, однако в целом они отличаются между собой лишь конструктивными параметрами, а по пространственным характеристикам разные марки шин одного размера примерно одинаковые, поэтому в табл. 2 безопасное расстояние от взрыва было усреднено.

Данную методику рекомендуется использовать при разработке плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий [11]. В дальнейшем данную методику необходимо развить и уточнить. Используя компьютерное моделирование аварийных ситуаций [12–14], можно учесть отражение ударно-воздушной волны от кузова автосамосвала.

Дополнительные мероприятия защиты горноспасателей при тушении автосамосвалов

В связи с тем что тушение возгорания непосредственно горноспасателями с расстояния 65 м и более не представляется возможным, для минимизации рисков получения травм от осколков колёс при тушении автосамосвалов горноспасателям необходимо использовать дополнительную

защитную экипировку, в частности, специальные каски [15] или шлемы, полностью закрывающие лицо, и изолированный газодымозащитный комплект для исключения вероятности отравления продуктами горения, которые могут быть выброшены ударно-воздушной волной после взрыва колеса.

Для дополнительной внешней защиты от действия УВВ и мелких осколков шины рекомендуется разместить по периметру тушения пожара специальные тепло-осколочно-защитные щиты марки «Согда» (рис. 4) или передвижные комплексы пожаротушения с экранами.

Если взглянуть на опыт зарубежных коллег, то в данный момент в Китае ведутся активная разработка и тестирование новых альтернативных средств пожаротушения в виде дистанционно-управляемых роботов (рис. 5). Они состоят из закреплённых пожарных стволов на гусеничной раме. Несколько таких роботов помещают в пожарную машину и дислоцируют на безопасном расстоянии от пожара. После этого к ним подсоединяется пожарный рукав, через который идёт поток тушащего вещества.

Несколько пожарных машин с такими роботами в силах полностью заменить отряд горноспасателей и выдержать экстремальную температуру, УВВ или разлёт осколков. Дистанция, с которой возможно управление роботами, измеряется в сотнях метров, поэтому оператор находится в безопасности.



Рис. 4
Тепло-осколочно-защитный щит «Согда» 1А (а) и «Согда» 4 (б)



Fig. 4
Heat and Splinter Protection Shields Sogda 1A (a) and Sogda 4 (b)



Рис. 5
Общий вид роботов (а) и процесс тушения пожара с их помощью (б)

Fig. 5
General view of robots (a) and the process of extinguishing a fire with their help (b)

Заключение

Обеспечение безопасности горноспасательных работ при ликвидации и локализации аварий на горных предприятиях является основной задачей. При возникновении пожаров автосамосвалов на открытых горных работах есть вероятность взрыва колеса.

Рассмотренные поражающие факторы, возникающие при взрывах, показывают, что существующая тактика аварийно-спасательных работ не учитывает их. К травмирующим факторам относят осколки от шин, ударно-воздушную волну, пожарные газы и дым.

По предложенной методике, зная параметры колёс автосамосвалов, можно рассчитать безопасное расстояние по действию на людей ударно-воздушной волны и разлету осколков.

Рассмотренные мероприятия, применяемые сегодня в России, не позволяют обеспечить полную безопасность членов вспомогательных горноспасательных команд и горноспасателей. Разрабатываемые в Китае управляемые

дистанционно роботы могут повысить уровень безопасности аварийно-спасательных работ. Такие системы могут быть разработаны и в России.

Список литературы

1. Земский Г.Т., Зуйков В.А., Зуйков А.В. Особенности обеспечения пожарной безопасности предприятий, обслуживающих автотранспортные средства. *Пожарная безопасность*. 2015;(4):151–153.
2. Sheperd R.S., Ziccardi V.B., Livingston D., Lavery R. Trauma from tire and rim explosions: a retrospective analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2004;64:36–38. DOI: 10.1016/j.joms.2003.08.007.
3. Зырянов И.В., Маев С.П. Опыт эксплуатации карьерных самосвалов на нюрбинском ГОКе. *Горный журнал*. 2006;(2):69–72. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/750/article/10727/>
4. Яременко Р.П., Дуганова Е.В. Анализ повреждений шин карьерных самосвалов при эксплуатации и целесообразность их восстановления. В: Горохов А.А. *Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов 14-й Международной научно-практической конференции, Курск, 13–14 марта 2019 г.* Курск: Университетская книга; 2019. С. 230–233.
5. Gridina E.B., Andreev R.E. Principles of providing safety, comprehensive analysis of the injury risk and the targeted impact on the traumatic factors as the instruments of increasing the efficiency of integrated safety management systems at mining enterprises of the Russian Federation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(3):2641–2650. Available at: [http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7\(3\)/338.pdf](http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7(3)/338.pdf)
6. Andreev R.E., Gridina E.B. Formation of oriented fracture upon explosion of elongated charges. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017;33(1):944–949. Available at: <https://www.icontrolpollution.com/articles/formation-of-oriented-fracture-upon-explosion-of-elongated-charges-.php?aid=85854>
7. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Afanasyev P.I. Justification of drilling and blasting parameters for the conditions of vostochno-beysky open-cut. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(9):6168–6173.
8. Hefny A.F., Eid H.O., Abu-Zidan F.M. Severe tyre blast injuries during servicing. *Injury International Journal of the Care of the Injured*. 2009;40(5):484–487. DOI: 10.1016/j.injury.2008.08.042.
9. Matloub H.S., Prevel C.D., Sanger J.R., Yousif N.J., Devine C.A., Romano J. Tire explosion injuries to the upper extremity. *Annals of Plastic Surgery*. 1992;29(6):559–563. Available at: https://journals.lww.com/annalsplasticsurgery/Abstract/1992/12000/Tire_Explosion_Injuries_to_the_Upper_Extremity.13.aspx

10. Ziak P., Mojzisz P., Halicka J., Pinero D.P. Bilateral perforating eye injury with metallic foreign bodies caused by tire explosion: Case report. *Trauma Case Reports*. 2017;11:20–22. DOI: 10.1016/j.tcr.2017.10.022.
11. Кобылкин С.С., Кобылкин А.С., Баловцев С.В., Харисов А.Р. Научно-обоснованные решения по разработке инструкции по составлению плана ликвидации аварий для угольных разрезов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(6-1):84–98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.
12. Кобылкин С.С., Кобылкин А.С. Трехмерное моделирование при проведении инженерных расчетов по тактике горноспасательных работ. *Горный журнал*. 2018;(5):82–85. DOI: 10.17580/gzh.2018.05.13.
13. Batugin A.S., Kobylkin A.S., Musina V.R. Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps. *Eurasian Mining*. 2019;(2):64–69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.
14. Batugin A., Kobylkin A., Musina V., Daniil K. Validation of the geometrical model and boundary conditions for modeling the process of air intake into the body of a coal waste dump taking into account area geodynamics. In: *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2018, Sofia, Bulgaria, 2–8 July, 2018*. Vol. 18. P. 1111–1118. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.140.
15. Nikulin A., Romanov A. Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017;23(1):384–389. Available at: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=7649&iid=225&jid=3

References

1. Zemsky G.T., Zuykov V.A., Zuykov A.V. Features of fire safety of the enterprises servicing vehicles. *Pozharnaya bezopasnost = Fire Safety*. 2015;(4):151–153. (In Russ.)
2. Sheperd R.S., Ziccardi V.B., Livingston D., Lavery R. Trauma from tire and rim explosions: a retrospective analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2004;64:36–38. DOI: 10.1016/j.joms.2003.08.007.
3. Zyryanov I.V., Maev S.P. Experience in dump truck operation at the Nyurba Mining and Processing Integrated Works. *Gornyi Zhurnal*. 2006;(2):69–72. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/750/article/10727/>
4. Yaremenko R.P., Duganova E.V. Analysis of damage to dump truck tyres during operation and feasibility of their repairs. In: Gorokhov A.A. *State-of-the-art instrumental systems, information technologies and innovations: Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference, Kursk, March 13-14, 2019*, Kursk: Universitetskaya kniga; 2019, pp. 230–233. (In Russ.)
5. Gridina E.B., Andreev R.E. Principles of providing safety, comprehensive analysis of the injury risk and the targeted impact on the traumatic factors as the instruments of increasing the efficiency of integrated safety management systems at mining enterprises of the Russian Federation. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(3):2641–2650. Available at: [http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7\(3\)/\[338\].pdf](http://www.rjpbcs.com/pdf/2016_7(3)/[338].pdf)
6. Andreev R.E., Gridina E.B. Formation of oriented fracture upon explosion of elongated charges. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017;33(1):944–949. Available at: <https://www.icontrolpollution.com/articles/formation-of-oriented-fracture-upon-explosion-of-elongated-charges-.php?aid=85854>
7. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Afanasyev P.I. Justification of drilling and blasting parameters for the conditions of vostochno-beysky open-cut. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(9):6168–6173.
8. Hefny A.F., Eid H.O., Abu-Zidan F.M. Severe tyre blast injuries during servicing. *Injury International Journal of the Care of the Injured*. 2009;40(5):484–487. DOI: 10.1016/j.injury.2008.08.042.
9. Matloub H.S., Prevel C.D., Sanger J.R., Yousif N.J., Devine C.A., Romano J. Tire explosion injuries to the upper extremity. *Annals of Plastic Surgery*. 1992;29(6):559–563. Available at: https://journals.lww.com/annalsplasticsurgery/Abstract/1992/12000/Tire_Explosion_Injuries_to_the_Upper_Extremity.13.aspx
10. Ziak P., Mojzisz P., Halicka J., Pinero D.P. Bilateral perforating eye injury with metallic foreign bodies caused by tire explosion: Case report. *Trauma Case Reports*. 2017;11:20–22. DOI: 10.1016/j.tcr.2017.10.022.
11. Kobylkin S.S., Kobylkin A.S., Balovtsev S.V., Kharisov A.R. Science-based solutions on the development of instructions for an emergency response plan for open-pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):84–98. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.
12. Kobylkin S.S., Kobylkin A.S. 3D modeling in engineering design of mine rescue work tactics. *Gornyi Zhurnal*. 2018;(5):82–85. (In Russ.) DOI: 10.17580/gzh.2018.05.13.
13. Batugin A.S., Kobylkin A.S., Musina V.R. Effect of geodynamic setting on spontaneous combustion of coal waste dumps. *Eurasian Mining*. 2019;(2):64–69. DOI: 10.17580/em.2019.02.14.
14. Batugin A., Kobylkin A., Musina V., Daniil K. Validation of the geometrical model and boundary conditions for modeling the process of air intake into the body of a coal waste dump taking into account area geodynamics. In: *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2018, Sofia, Bulgaria, 2–8 July, 2018*. Vol. 18. P. 1111–1118. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.140.
15. Nikulin A., Romanov A. Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017;23(1):384–389. Available at: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=7649&iid=225&jid=3

Информация об авторах

Кобылкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности и экологии горного производства, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kobylkin.s@misis.ru.

Аржанов Илья Евгеньевич – студент кафедры безопасности и экологии горного производства, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.03.2021

Поступила после рецензирования: 15.03.2021

Принята к публикации: 25.03.2021

Information about the authors

Sergey S. Kobylkin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: kobylkin.s@misis.ru.

Ilya E. Arzhanov – Student at Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation.

Article info

Received: 03.03.2021

Revised: 15.03.2021

Accepted: 25.03.2021