УДК 622.862.1

DOI: 10.25018/0236 1493 2024 2 0 168

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ И УПРАВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНОЙ ПОРАЖАЮЩЕГО ФАКТОРА

Ф.Я. Умаров¹, У.Ф. Насиров¹, Ш.Ш. Заиров¹, А.У. Фатхиддинов², Г.С. Нутфуллоев¹

¹ Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Алмалык, Алмалык, Республика Узбекистан, e-mail: sher-z@mail.ru

² Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета,
Алмалык, Республика Узбекистан

Аннотация: Рост масштабов добычи и потребления минерального сырья, увеличение мощности горного производства и усложнение горно-геологических и географических условий разработки месторождений, происходящие на фоне роста глубины открытых разработок, ведут к обострению проблем обеспечения экономической эффективности добычи, сведения к минимуму техногенной нагрузки и соблюдения нормативных требований на объектах ведения взрывных работ. Анализ известных способов снижения вредного воздействия массовых взрывов в глубоких карьерах на окружающую среду показывает, что, несмотря на достаточное количество технологических, технических и организационных решений в данной области, на сегодняшний день в практике взрывных работ отсутствуют эффективные способы и средства борьбы с пылегазовым облаком. Такое положение связано с быстротечностью его формирования, которое происходит под воздействием многих случайных факторов (состояние атмосферы, ассортимент применяемых взрывчатых веществ, физико-механические свойства и обводненность пород и т.п.) При этом пылегазовое облако представляет собой условный объект, параметры и границы которого непрерывно изменяются. Проведение упреждающих технологических, технических и организационных мероприятий позволяет снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, повысить безопасность производства и рационализировать ассортимент взрывчатых материалов на заводах, приближенных к месту производства горных работ в глубоких карьерах. Установлена целесообразность применения новой конструкции забойки скважинных зарядов взрывчатых веществ, предотвращающей опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины и увеличивающей продолжительность импульса взрыва и степень использования ее энергии на дробление горных пород.

Ключевые слова: карьер, взрывные работы, забойка, промышленная безопасность, управление величиной поражающего фактора взрыва, разброс кусков горных пород, метод взрывания горных пород, увеличение продолжительности импульса взрыва, отрицательное влияние взрыва на окружающую среду.

Благодарность: Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ филиала НИТУ «МИСиС» в г. Алмалык на тему: «Разработка эффективной технологии взрывных работ, обеспечивающей снижение выхода негабаритов на карьерах АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (проект № 63-13). Данная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли».

Для цитирования: Умаров Ф. Я., Насиров У. Ф., Заиров Ш. Ш., Фатхиддинов А. У., Нутфуллоев Г. С. Системы безопасности при ведении взрывных работ на карьерах и управление величиной поражающего фактора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 2. – С. 168–181. DOI: 10.25018/0236 1493 2024 2 0 168.

Blasting safety and destruction factor control in open pit mines

F.Y. Umarov¹, U.F. Nasirov¹, Sh.Sh. Zairov¹, A.U. Fatkhiddinov², G.S. Nutfulloev¹

- ¹ Almalyk branch of NUST MISiS, Almalyk, Republic of Uzbekistan, e-mail: sher-z@mail.ru
- ² Almalyk branch of Tashkent State Technical University, Almalyk, Republic of Uzbekistan

Abstract: The buildup of the mineral production and consumption scales, the expansion of the mineral mining industry and the complication of the geographical and geological conditions of mineral mining against the background of the growing depth of open cutting aggravates the problems connected with stimulation of economic efficiency of mining, minimization of manmade loading and observation of regulatory requirements at blasting sites. The analyses of the known methods aimed at reduction of the environmental impact of large-scale blasting in deep open pits show that, despite a plentiful of technological and organizational decisions in this field, the present-day practice of blasting lacks the effective methods and means of suppression of a dust and gas cloud. The situation is associated with the fleetness of the cloud formation under the action of many random factors (weather, choice of explosives, physical and mechanical properties and water content of rocks, etc.). A dust and gas cloud is a tentative object, and its boundaries and parameters change continuously. The preventive engineering and organizational arrangements make it possible to reduce the risk of contingency situations, increase the production safety and rationalize the choice of explosives manufactured at plants in the neighborhood of blasting operations in deep open pits. It is found to be efficient to use a new-design stemming of blast holes as it prevents fly rocks with explosion gases through blast hole mouth, as well as increases duration of explosion momentum and the factor of the explosion utilization energy in rock fragmentation.

Key words: open pit mine, blasting, stemming, industrial safety, blasting-induced destruction factor control, fly rocks, blasting method, explosion momentum duration extension, environmental impact of explosion.

Acknowledgements: The study was carried out within the R&D plan for the division of the National University of Science and Technology–MISIS in Almalyk, topic: Efficient Blasting Technology at Reduced Oversize for Open Pit Mines of Almalyk Mining and Metallurgical Plant, Project No. 63-13. This study pursues implementation of the objectives set by the President of the Republic of Uzbekistan, Decree No. PP-4124 dated 17 January 2019: Further Improvement of Performance of the Mining and Metallurgical Industry.

For citation: Umarov F. Y., Nasirov U. F., Sh.Sh. Zairov, Fatkhiddinov A. U., Nutfulloev G. S. Blasting safety and destruction factor control in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(2):168-181. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_168.

Введение

Одной из важных задач взрывного дела является разработка высокоэффективных, экологически чистых, безопас-

ных и ресурсосберегающих технологий взрывания массива горных пород [1]. Важной мерой промышленной безопасности при буровзрывных работах (БВР)

является защита людей, оборудования, инженерных сооружений и окружающей среды от поражающего и токсического действия взрывчатых веществ (ВВ) и продуктов взрыва.

На сегодняшний день в мире интенсивность поражающего действия и разброса кусков горных пород при ведении БВР на карьерах зависит от многих факторов [2-4], к которым можно отнести технологические, организационные и инженерно-технические мероприятия по снижению поражающего действия и сокращению разброса кусков горных пород при массовых взрывах на карьерах. Но при реализации известных способов наблюдаются технологические трудности выполнения процесса, ограниченные условия применения и предотвращение разлета кусков горных пород только с горизонтальных площадок, в то время как значительный выброс горной массы идет с откоса взрываемого уступа.

Многочисленными исследованиями [5-9] установлено, что значительная роль при производстве массового взрыва принадлежит забойке, которая обеспечивает увеличение продолжительности импульса, степени использования энергии взрыва, полноты детонационного процесса.

Все используемые в настоящее время типы забоек разделяются на две группы — из сыпучих материалов и жидкостные, но главными их недостатками являются трудоемкость процесса, недостаточная проработка системы безопасности при ведении взрывных работ, отсутствие методов управления величиной поражающего фактора, способствующих уменьшению ущерба и жертв.

В связи с этим возникает необходимость в решении задач по дальнейшему совершенствованию состава забойки, разработке комплексной системы безопасности и управлению величиной поражающего фактора.

О необходимости обеспечения системы безопасности при взрывных работах

Рост масштабов добычи и потребления минерального сырья, увеличение мощности горного производства и усложнение горно-геологических и географических условий разработки месторождений, происходящие на фоне роста глубины открытых разработок, ведут к обострению проблем обеспечения экономической эффективности добычи, сведения к минимуму техногенной нагрузки и соблюдения нормативных требований на объектах ведения взрывных работ.

Перечисленные проблемы решаются, как правило, обособленно специалистами в области технологии открытых разработок (первая), обеспечения безопасности персонала (вторая) и охраны труда (третья), а открытые горные работы рассматриваются как сумма ассоциированных моделей, каждая из которых представляет определенную дисциплину горной науки. При таком подходе получение желаемых результатов одновременно по всем направлениям далеко не всегда возможно. Поэтому указанные проблемы целесообразно представить в виде триединой задачи открытых разработок, решаемой комплексно. В качестве объединяющего критерия для комплексной оценки принимаемых решений в рассматриваемых условиях может выступить пылегазовый режим карьера, прямо или косвенно связанный со всеми процессами и параметрами открытых разработок, а также обеспечение безопасности как технических систем, так и социальных. Однако единого подхода для оценки методов и средств управления этим режимом по мере развития карьеров во времени и пространстве с воздействием на экономику добычи, пылегазовую нагрузку на окружающую среду и персонал карьеров не разработано.

Таблица 1
Показатели аварий на опасных категорированных объектах отраслей промышленности Республики Узбекистан за период 2018—2022 гг.
Indicators of accidents at hazardous categorized objects of industries of the Republic of Uzbekistan for the period 2018—2022

Отрасли	2018		2019		2020		2021		2022	
промышлен- ности	кол-во аварий		кол-во аварий		кол-во аварий		кол-во аварий		кол-во аварий	
Нефтегазовая отрасль	1	0,101	_	_	6	5,550	3	2,362	2	1,238
Угольная, горнорудная и нерудная отрасли	1	0,0032	_	_	1	5,745	1	0,086	1	0,033
Энергетическая отрасль	3	0,279	1	0,403	_	_	_	_	1	0,381
Другие отрасли ОПО	_	_	_	_	1	0,033	_	_	3	0,344
Итого	5	0,383	1	0,403	8	11,328	4	2,448	7	1,996

В связи с тем, что для предприятий окружающая среда представляет собой некий условный объект, а государственная экономическая политика не отражает экологических приоритетов, природоохранные мероприятия выполняются в недостаточном объеме, что отмечается многими специалистами в области экологии горного производства.

Немаловажное значение имеют поражающие факторы самого взрыва и самих компонентов, применяемых при проведении взрывных работ, способные повлечь значительный ущерб как техническим системам, зданиям и сооружениям близлежащих территорий, так и персоналу. Показатели аварий на опасных категорированных объектах отраслей промышленности Республики Узбекистан за период 2018 — 2022 гг. приведены в табл. 1.

Разработка комплексной системы безопасности при производстве и применении взрывчатых веществ

Установлено, что основные технологические и эксплуатационные свойства

эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) зависят от правильного выбора состава окислителя, эмульгатора, способа получения эмульсии, природы сенсибилизирующей добавки и оборудования для их изготовления [10-15]. Состав ЭВВ, обладая рядом преимуществ перед другими типами промышленных ВВ, имеет ряд особенностей:

- существует набор критических параметров внешних воздействий, при превышении которых происходит возникновение начального очага (взрыва);
- разложение ЭВВ идет на молекулярном уровне, и для этого не нужны дополнительные реагенты;
- ЭВВ присущи высокая концентрация и скорость выделения энергии, что, как правило, заканчивается взрывным эффектом, воздействующим на окружающую среду (аппараты, стены здания, соседние здания и сооружения, персонал).

Поэтому производство и применение ЭВВ требует строгой регламентации по условиям безопасности [16-18]. В качестве такого условия рассмотрен уровень среднего технического (теоретического) риска, рассчитываемого как сумма кри-

Таблица 2 **Оценка рисков по вероятности возникновения Risk assessment by probability of occurrence**

Балл	Отказ	Частота возникновения отказа в год
0	практически невероятный	< 10 ⁻⁶
1	редкий	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶
2	возможный	10 ⁻² - 10 ⁻⁴
3	вероятный	1 - 10-2
4	частый	>1

териев вероятности (частоты) возникновения (табл. 2) и тяжести последствий (табл. 3) нежелательных событий по наиболее серьезным событиям.

По результатам проведенной оценки сделан вывод, что общий уровень риска при эксплуатации завода ЭВВ в нынешних условиях является приемлемым как для опасного промышленного объекта при соблюдении технических и организационных мероприятий (система безопасности), направленных на его снижение. При этом источником неопределенности оценки риска является человеческий фактор и неисправность оборудования.

На основе исследований и анализа уровня риска завода с целью безусловного обеспечения безопасного производства эмульсионных ВВ на заводе разработана комплексная система безопасности эксплуатации завода ЭВВ (см. рис. 1), позволяющая обеспечить безопасное производство ЭВВ на заводе при снижении

существующего уровня риска завода с 6,5 балла до 4,0 баллов.

Проведено обоснование прогнозной оценки ведения взрывных работ вблизи горного оборудования и инженерных коммуникаций в условиях глубоких карьеров в части поражающего действия кусков взорванной породы, в результате которого установлена максимальная дальность разлета:

$$R_0 = R_{\text{pasn}} \cdot K_{\text{sa6}} + \Delta R \tag{1}$$

где $R_{{}_{\mathrm{раз},1}}$ — прогнозная оценка максимальной дальности разлета кусков породы, м; $K_{{}_{\mathrm{3a}6}}$ — коэффициент влияния величины забойки на дальность разлета кусков породы; ΔR — ветровой снос кусков взорванной массы в подветренную сторону, м.

Расчет максимальной дальности разлета кусков взорванной породы, приведенный в табл. 4, показывает, что дальность разлета кусков породы по разрабо-

Таблица 3 **Оценка рисков по тяжести последствий Risk assessment by severity of consequences**

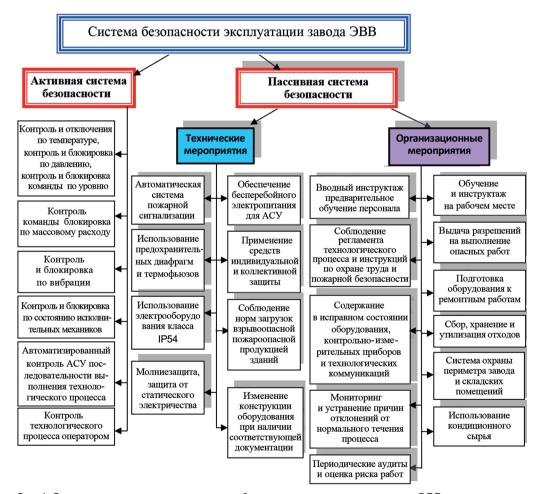
Балл	Тяжесть последствия отказа	Последствия
1	пренебрежительно малая	не относятся ни к одной из следующих трех категорий
2	некритическая	нет опасности существенного ущерба окружающей среде и имуществу, нет угрозы жизни людей
3	критическая	возможность существенного ущерба окружающей среде и имуществу, угроза жизни людей
4	катастрофическая	невосполнимый ущерб окружающей среде, существенный ущерб имуществу, смерть людей

танной методике с учетом применения забойки и ветрового сноса ниже соответственно на 71,5 и 46,5 м, что позволяет сократить простои горного оборудования из-за уменьшения расстояния их перегона из опасной зоны перед и после взрывных работ.

Разработка безопасных условий взрывных работ в крупных глубоких карьерах в части внедрения неэлектрической системы инициирования скважинных зарядов и радиоуправления взрывом, изменения порядка проведения массовых взрывов, разработки прогнозной оценки

ведения взрывных работ вблизи горного оборудования и инженерных коммуникаций в части поражающего действия кусков взорванной породы позволили повысить безопасность и эффективность взрывных работ в условиях глубоких карьеров за счет снижения простоев горнодобывающей техники и годовых затрат на взрывные работы.

Таким образом, разработан способ ведения взрывных работ в карьерах с применением неэлектрической системы инициирования скважинных зарядов, выработаны безопасные условия взрывных



Puc. 1. Рекомендуемая комплексная система безопасности эксплуатации завода ЭВВ Fig. 1. Recommended integrated safety system for the operation of the emulsion explosives plant

Таблица 4

Расчет максимальной дальности разлета кусков взорванной породы

Calculation of the maximum range of spread of pieces of blasted rock

Коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова	f	13
Диаметр скважинного заряда	<i>d</i> , м	0,25
Расстояние между скважинами в ряду	а, м	6
Расстояние между рядами скважин	<i>b</i> , м	7
Высота уступа	Н _у , м	10
Плотность заряжания	ρ, г/см ³	0,9
Длина заряда	L ₃ , м	6,7
Длина забойки	L _{здБ} , м	5
Удельный расход BB	<i>q</i> , кг/м³	0,7
Масса скважинного заряда ВВ	Q , кг	296
Скорость ветра	V, м/с	5
Ветровой снос	ΔR, м	25
Максимальная дальность разлета кусков по формуле ЕПБВР	М	480
Дальность разлета кусков породы по разработанной методике:		
– без учета ветра и забойки	М	543
– с учетом применения забойки	М	408,5
– с учетом ветрового сноса и применения забойки	М	433,5

работ в крупных глубоких карьерах в части внедрения радиоуправления взрывом, разработки прогнозной оценки ведения взрывных работ вблизи горного оборудования и инженерных коммуникаций в части поражающего действия кусков взорванной породы, которые позволили изменить порядок проведения массовых взрывов, повысить безопасность и эффективность взрывных работ в условиях карьеров.

Для обеспечения комплексной безопасности взрывных работ разработаны 3 компьютерные программы на языке Borland Delphi 7.0 [19 — 21]:

- 1. Расчет массы вредных газов, выбрасываемых с пылегазовым облаком.
- 2. Расчет массы твердых частиц (пыли), выбрасываемых с пылегазовым облаком).
- 3. Расчет безопасных расстояний при взрыве.

Выбор параметров действия взрыва скважинных зарядов BB

Действие взрыва скважинных зарядов может быть охарактеризовано рядом силовых и кинематических параметров: амплитудой и длительностью волн напряжений, скоростью смещения среды за волной напряжений, импульсом и энергией волн напряжений в среде, параметрами ударно-воздушной волны.

Величины импульса и энергии, передаваемые при взрыве заряда ВВ горному массиву, более полно характеризуют действие взрыва, так как учитывают не только силовые и кинематические параметры, но и время воздействия взрыва, т.е. являются интегральными параметрами.

Действие удлиненных зарядов ВВ на среду определяется в начальный период детонационных процессов величиной импульса, передаваемого боковой по-

верхности скважины. Для горных пород установлены величины удельных критических импульсов, при которых начинается разрушение горных пород.

Удельный импульс i, передаваемый боковой поверхности скважины в любом сечении x по длине заряда l_3 ($0 \le x \le l_3$), определяется по формуле [22]

$$i = \sum_{t_n}^{t_k} P_i dt, i = 0, 1, 2, ..., n,$$
 (2)

где $P_{\rm i}$ — давление детонационных, ударных волн и волн разрежения, возникающих в заряде ВВ при его детонации; $t_{\rm n}$, $t_{\rm k}$ — начальное и конечное время их существования.

Полный импульс, передаваемый боковой поверхности скважины, определяется по формуле

$$J=2\pi\tau_3\int_{0}^{l_3}idx, \qquad (3)$$

где ${\bf \tau_3}$ — радиус заряда; $l_{\bf 3}$ — длина заряда.

Расчет распределения импульса вдоль боковой поверхности скважины основан на рассмотрении процесса распространения детонационных волн, волн разрежения и отраженных волн, возникающих при инициировании заряда ВВ. Аналитические расчеты, проведенные на основе законов газовой динамики, показывают, что характер распределения удельного импульса, передаваемого боковой поверхности скважины, зависит от условий на торцах заряда (открытый, закрытый с одной или обеих сторон) и от способа инициирования. В расчетах используется относительное значение удельного импульса, передаваемого боковой поверхности скважины, $i/i_{\scriptscriptstyle 0}$, где $i_{\scriptscriptstyle 0}$ — удельный импульс, передаваемый торцевой поверхности скважины. Его значение можно рассчитать по выражению [23]

$$i_0 = \frac{32}{27} \frac{P_H l_3}{D} = \frac{8}{27} \rho_0 l_3 D$$
, (4)

где $P_H = \frac{\rho_0 D^2}{4}$ — начальное давление продуктов детонации (ПД) в скважине (на фронте детонационной волны); ρ_0 — начальная плотность BB; D — скорость детонации.

Используя уравнения газовой динамики для определения распространения детонационных волн, волн разрежения и отраженных волн и учитывая временные соотношения, по формуле (7) можно рассчитать величины i и затем i/i_0 для различных элементарных условий, а также величины i/i_0 для случая инертной среды забойки, помещенной в скважине.

Идея способа расчета соотношения i/i_0 сложной конструкции заряда BB заключается в использовании известных элементарных зависимостей (i/i_0) . При этом результирующее значение i/i_0 может быть получено графически сложением элементарных значений $(i/i_0)_3$ с учетом начальных и граничных условий (количества зарядов, способа инициирования, параметров BB) и т.д.

При взрыве скважинного заряда с активной забойкой достигается более оптимальное взаимодействие детонационных, отраженных, ударных волн и волн разрежения, за счет чего достигается увеличение i/i_0 . Исследованиями установлено, что использование активной забойки не исключает выход негабарита, так как величина импульса, передаваемого в свободную часть скважины, расположенную выше основного заряда ВВ, оказывается недостаточной для качественной проработки уступа.

Разработка и промышленное испытание способа снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах

В лабораторных условиях проведена научно-исследовательская работа, направленная на создание нового состава

твердеющей смеси с использованием компонентов из местного сырья. Основной задачей исследований являлась разработка способа ведения взрывных работ с использованием в качестве забойки быстротвердеющей бетонной смеси из буровой мелочи и химических добавок для снижения дальности разброса кусков горной породы с обеспечением требуемого качества дробления горной массы.

Для решения этой задачи проведены комплексные исследования и составлены 4 рецептуры твердеющей смеси:

1. Приготавливали смесь из буровой мелочи и цемента в соотношении 3:1 и разбавляли 200 мл раствора 5%-го силиката натрия. Смесь затвердевала через 40 мин.



Рис. 2. Способ снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах Fig. 2. A method for reducing the spread of rock pieces during blasting operations at quarries

- 2. Приготавливали смесь из буровой мелочи и бентонита в соотношении 3:1 и разбавляли 160 мл раствора 5%-го силиката натрия. Смесь затвердевала через 30 мин.
- 3. Приготавливали смесь из буровой мелочи и гипса в соотношении 3:1 и разбавляли 160 мл раствора 5%-го силиката натрия. Смесь затвердевала через 20 мин.
- 4. Приготавливали смесь из буровой мелочи и алебастра в соотношении 3:1 и разбавляли 160 мл раствора 5%-го силиката натрия. Смесь затвердевала через 50 мин.

В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что наиболее приемлемой твердеющей смесью для использования в забоечной части скважины является 3-й рецепт — смесь из буровой мелочи и гипса в соотношении 3:1 с разбавлением раствором 5%-го силиката натрия.

В результате проведенных исследований разработан способ снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах. Согласно данному способу, на месте производства массового взрыва бурятся скважины и заполняются ВВ с установкой промежуточных детонаторов по паспорту ведения буровзрывных работ для данного карьера.

В забоечном пространстве скважин формируется забойка, состоящая, в свою очередь, из двух равных частей: нижней из промышленного ВВ с добавлением 20% воды и верхней из буровой мелочи, выделяемой от бурения скважин, и гипса, разбавленных 5%-м раствором силиката натрия с силикатным модулем, равным 2,4, в соотношении 3:1.

На рис. 2 показана схема заряжания каждой скважины при реализации предлагаемого способа снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах.

В соответствии с «Методикой исследования параметров пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах» на месторождении Кальмакыр АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» проведены опытно-промышленные испытания нового способа снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах.

Опытно-промышленными испытаниями установлено, что противодавление к взрывному импульсу основного заряда и продуктам детонации создается нижней частью забойки, которая способствует переходу процесса детонации в горение, и таким образом снижается скорость детонационной волны. Верхняя часть забойки после затвердевания (время твердения составило 40 мин) создает своеобразный затвор, способствуя сокращению интенсивности ударно-воздушной волны и дальности разброса кусков горных пород.

В результате опытно-промышленных испытаний способа снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах:

- безопасное расстояние для зданий и сооружений составило 470 м (при традиционном способе 600 м);
- расстояние, опасное для людей по разлету отдельных кусков породы — 720 м (при традиционном способе — 1000 м);
- безопасное расстояние по действию ударно-воздушной волны при взрыве на земной поверхности для зданий и сооружений составило 415 м (при традиционном способе 650 м).

Таким образом, разработанный способ предотвратил опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины, увеличил продолжительность импульса взрыва и позволил получить требуемую степень дробления массива горных пород.

Выводы

- 1. Разработана комплексная система безопасности эксплуатации завода ЭВВ, позволяющая обеспечить безопасное производство ЭВВ на заводе при снижении существующего уровня риска завода с 6,5 балла до 4,0 баллов.
- 2. Разработаны безопасные условия взрывных работ в крупных глубоких карьерах в части внедрения радиоуправления взрывом, разработки прогнозной оценки ведения взрывных работ вблизи горного оборудования и инженерных коммуникаций в части поражающего действия кусков взорванной породы, которые позволили повысить безопасность и эффективность взрывных работ в условиях глубоких карьеров.
- 3. Разработаны компьютерные программы на языке Borland Delphi 7.0, позволяющие произвести расчет массы вредных газов, выбрасываемых с пылегазовым облаком, массы твердых частиц (пыли), выбрасываемых с пылегазовым облаком и безопасных расстояний при взрыве. Новизна программ защищена свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ № DGU 14250, DGU 14251 и № DGU 14252, зарегистрированных в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан.
- 4. Разработана методика исследования состава твердеющей смеси для использования в забоечной части взрывной скважины в лабораторных условиях.

В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных определены физико-механические параметры различных составов твердеющей смеси и установлено, что наиболее приемлемой твердеющей смесью для использования в забоечной части скважины является смесь из буровой мелочи и гипса в соотношении 3:1 с разбавлением раствором 5% силиката натрия.

- 5. Разработан способ снижения разброса кусков горных пород при ведении взрывных работ на карьерах, включающий бурение скважин, их заполнение взрывчатом веществом, забойку и взрывание, отличающийся тем, что в забоечном пространстве скважин формируется забойка, состоящая, в свою очередь, из двух равных частей: нижней из промышленного ВВ с добавлением воды в соотношении (%) 80:20 и верхней из буровой мелочи, выделяемой от бурения скважин, и гипса, разбавленным с 5%-м раствором силиката натрия с силикатным модулем, равным 2,4, в соотношении 3:1.
- 6. В результате опытно-промышленных испытаний способа снижения разброса кусков горных пород при ведении

взрывных работ на карьерах безопасное расстояние для зданий и сооружений составило 470 м (при традиционном способе -600 м), расстояние, опасное для людей по разлету отдельных кусков породы — 720 м (при традиционном способе -1000 м), безопасное расстояние по действию ударно-воздушной волны при взрыве на земной поверхности для зданий и сооружений составило 415 м (при традиционном способе -650 м). Таким образом, разработанный способ предотвратил опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины, увеличил продолжительность импульса взрыва и позволил получить требуемую степень дробления массива горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region // Mining of Mineral Deposits. National Mining University. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 54—60. DOI: 10.15407/mining12.01.054.
- 2. Gendler Š., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone // Resources. 2021, vol. 10, no. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.
- 3. Hoebbel C. L., Haas E. J., Ryan M. E. Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry // Mining Metallurgy & Exploration. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485 494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.
- 4. Шеметов П. А., Очилов Ш. А. Совершенствование и развитие взрывных работ в Узбекистане // Горный вестник Узбекистана. 2013. № 4. С. 14-18.
- 5. Рубцов С. К., Шеметов В. П., Бибик И. П. Исследование рациональных параметров конструкции и состава забойки скважинных зарядов в условиях карьера Мурунтау // Горный вестник Узбекистана. 2002. \mathbb{N}^2 1. С. 27 29.
- 6. Сеинов Н. П., Жариков Н. Ф., Валмеев Б. С., Удачин Г. В. Об эффективности применения активной забойки // Взрывное дело. 1972. № 71(28). С. 134—139.
- 7. Лещинский А. В., Шевкун Е. Б. Забойка взрывных скважин на карьерах. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2008. С. 95—122.
- 8. Раимжанов Б. Р., Бибик И. П., Шеметов П. А. Повышение длительности взрывного воздействия за счет использования в забойке заряда асимметричного действия // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Инновация-2001». Ташкент: Изд-во «Янги аср авлоди», 2001. С. 189—191.
- 9. Жариков И. Ф. Разработка и научное обоснование энергосберегающих технологий взрывных работ на открытых разработках угольных месторождений. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 2001. 45 с.
- 10. Mendes R., Ribeiro J., Plaksin I., Campos J., Tavares B. Differences between the detonation behavior of emulsion explosives sensitized with glass or with polymeric microballoons // Journal of Physics: Conference Series. 2014, vol. 500, no. 5, article 052030. DOI: 10.1088/1742-6596/500/5/052030.
- 11. Lei Liu, Zhihua Zhang, Ya Wang, Hao Qin Experimental study on the influence of chemical sensitizer on pressure resistance in deep water of emulsion explosives // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol. 128, article 012137. DOI: 10.1088/1755-1315/128/1/012137.

- 12. Agrawal H., Mishra A. A study on influence of density and viscosity of emulsion explosive on its detonation velocity // Modelling, Measurement and Control C. 2018, vol. 78, no. 3, pp. 316 336.
- 13. Mertuszka P., Cenian B., Kramarczyk B., Pytel W. Influence of explosive charge diameter on the detonation velocity based on emulinit 7L and 8L bulk emulsion explosives // Central European Journal of Energetic Materials. 2018, vol. 15, pp. 351 363. DOI: 10.22211/cejem/78090.
- 14. Mishra Ä. K., Rout M., Singh D. R., Jana S. P. Influence of gassing agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives // Geotechnical and Geological Engineering. 2018, vol. 36, no. 1. pp. 89 94.
- 15. Bordzilovskii S. A., Karakhanov S. M., Plastinin A. V., Rafeichik S. I., Yunoshev A. S. Detonation temperature of an emulsion explosive with a polymer sensitizer // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2017, vol. 53, no. 6, pp. 730 737. DOI: 10.1134/S0010508217060156.
- 16. Умербеков Ж. Ж., Гончаренко С. Н. Обоснование эффективности внедрения целевой модели управления производственной безопасностью горнодобывающей компании // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 8. С. 225—234. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.
- 17. *Тюпин В. Н.*, *Хаустов В. В.* Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 2. С. 45 54. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-45-54.
- 18. Зайцева Е. В., Медяник Н. Л. Автоматизация процессов интегрированного планирования производства и продаж продукции горно-перерабатывающих предприятий цементной отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 2. С. 111-123. DOI: 10. $25018/0236_1493_2022_2_0_111$.
- 19. Заиров Ш. Ш., Сулейманов А. А., Фатхиддинов А. У., Норматова М. Ж., Уринов Ш. Р., Насиров У. Ф. Расчет массы вредных газов, выбрасываемых с пылегазовым облаком: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 14252 по заявке № DGU 2021 4201 от 17.12.2021 г. Зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан 17.01.2022.
- 20. Заиров Ш. Ш., Сулейманов А. А., Фатхиддинов А. У., Умаров Ф. Я., Норматова М. Ж., Уринов Ш. Р. Расчет массы твердых частиц (пыли), выбрасываемых с пылегазовым облаком: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 14251 по заявке № DGU 2021 4214 от 17.12.2021 г. Зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан 17.01.2022.
- 21. Заиров Ш. Ш., Фатхиддинов А. У., Сулейманов А. А., Насиров У. Ф., Умаров Ф. Я., Норматова М. Ж., Уринов Ш. Р. Расчет безопасных расстояний при взрывах: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 14250 по заявке № DGU 2021 4215 от 17.12.2021 г. Зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан 17.01.2022.
- 22. Терентьев В. И. Управление кусковатостью при поточной технологии добычи руд подземным способом. М.: Недра, 1972. 200 с.
- 23. Баум Ф. А., Григорян С. С., Санасарян Н. С. Определение импульса взрыва вдоль образующей скважины и оптимальных размеров скважинного заряда // Взрывное дело. 1964. № 54(11). С. 53-102.

REFERENCES

- 1. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region. *Mining of Mineral Deposits. National Mining University.* 2018, vol. 12, no. 1, pp. 54—60. DOI: 10.15407/mining12.01.054.
- 2. Gendler S., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. *Resources*. 2021, vol. 10, no. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.
- 3. Hoebbel C. L., Haas E. J., Ryan M. E. Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry. *Mining Metallurgy & Exploration*. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485 494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.
- 4. Shemetov P. A., Ochilov Sh. A. Improvement and development of blasting in Uzbekistan. *Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2013, no. 4, pp. 14–18. [In Russ].

- 5. Rubtsov S. K., Shemetov V. P., Bibik I. P. Study of rational parameters of the design and composition of the stemming of borehole charges in the conditions of the Muruntau quarry. *Mining Bulletin of Uzbekistan.* 2002, no. 1, pp. 27 29. [In Russ].
- 6. Seinov N. P., Zharikov N. F., Valmeev B. S., Udachin G. V. On the effectiveness of the use of active stemming. *Explosion technology*. 1972, no. 71(28), pp. 134–139. [In Russ].
- 7. Leshchinskiy A. V., Shevkun E. B. *Zaboyka vzryvnykh skvazhin na kar'erakh* [Driving blast holes in quarries], Khabarovsk, Izd-vo TOGU, 2008, pp. 95 122.
- 8. Raimzhanov B. R., Bibik I. P., Shemetov P. A. Increasing the duration of explosive action due to the use of an asymmetric charge in stemming. *Sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsiya-2001»* [Collection of scientific articles of the International scientific and practical conference «Innovation-2001»], Tashkent: Izd-vo «Yangi asr avlodi», 2001, pp. 189 191. [In Russ].
- 9. Zharikov I. F. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie energosberegayushchikh tekhnologiy vzryvnykh rabot na otkrytykh razrabotkakh ugol'nykh mestorozhdeniy [Development and scientific substantiation of energy-saving technologies for blasting at open-pit mines of coal deposits], Doctor's thesis, Moscow, IGD im. A.A. Skochinskogo, 2001, 45 p.
- 10. Mendes R., Ribeiro J., Plaksin I., Campos J., Tavares B. Differences between the detonation behavior of emulsion explosives sensitized with glass or with polymeric microballoons. *Journal of Physics: Conference Series.* 2014, vol. 500, no. 5, article 052030. DOI: 10.1088/1742-6596/500/5/052030.
- 11. Lei Liu, Zhihua Zhang, Ya Wang, Hao Qin Experimental study on the influence of chemical sensitizer on pressure resistance in deep water of emulsion explosives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018, vol. 128, article 012137. DOI: 10.1088/1755-1315/128/1/012137.
- 12. Agrawal H., Mishra A. A study on influence of density and viscosity of emulsion explosive on its detonation velocity. *Modelling*, *Measurement and Control C*. 2018, vol. 78, no. 3, pp. 316 336.
- 13. Mertuszka P., Cenian B., Kramarczyk B., Pytel W. Influence of explosive charge diameter on the detonation velocity based on emulinit 7L and 8L bulk emulsion explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*. 2018, vol. 15, pp. 351 363. DOI: 10.22211/cejem/78090.
- 14. Mishra A. K., Rout M., Singh D. R., Jana S. P. Influence of gassing agent and density on detonation velocity of bulk emulsion explosives. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2018, vol. 36, no. 1. pp. 89 94.
- 15. Bordzilovskii S. A., Karakhanov S. M., Plastinin A. V., Rafeichik S. I., Yunoshev A. S. Detonation temperature of an emulsion explosive with a polymer sensitizer. *Combustion, Explosion and Shock Waves.* 2017, vol. 53, no. 6, pp. 730 737. DOI: 10.1134/S0010508217060156.
- 16. Umerbekov Zh. Zh., Goncharenko S. N. Validation of efficiency of the target production safety management model introduction in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 8, pp. 225 234. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.
- 17. Tyupin V. N., Khaustov V. V. Geomechanical behavior of jointed rock mass versus delay interval in seismic load zone of large-scale blasts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 45 54. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-45-54.
- 18. Zaytseva E. V., Medyanik N. L. Automated integrated production and selling planning at processing plant in the cement industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 111–123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_111.
- 19. Zairov Sh. Sh., Suleimanov A. A., Fatkhiddinov A. U., Normatova M. Zh., Urinov Sh. R., Nasirov U. F. *Certificate of official registration of the computer program No. DGU 14252 on application No. DGU 2021 4201*, 12.17.2021. Registered in the state register of computer programs of the Republic of Uzbekistan on 01.17.2022.
- 20. Zairov Sh. Sh., Suleimanov A. A., Fatkhiddinov A. U., Umarov F. Ya., Normatova M. Zh., Urinov Sh. R. *Certificate of official registration of the computer program No. DGU 14251 on application No. DGU 2021 4214*, 12.17.2021. Registered in the state register of computer programs of the Republic of Uzbekistan on 01.17.2022.
- 21. Zairov Sh. Sh., Fatkhiddinov A. U., Suleimanov A. A., Nasirov U. F., Umarov F. Ya., Normatova M. Zh., Urinov Sh. R. *Certificate of official registration of the computer program No. DGU 14250 on application No. DGU 2021 4215*, 12.17.2021. Registered in the state register of computer programs of the Republic of Uzbekistan on 01.17.2022.
- 22. Terent'ev V. I. *Upravlenie kuskovatost'yu pri potochnoy tekhnologii dobychi rud podzemnym sposobom* [Lumpiness control in continuous underground ore mining technology], Moscow, Nedra, 1972, 200 p.

23. Baum F. A., Grigoryan S. S., Sanasaryan N. S. Determination of the explosion pulse along the generatrix of the borehole and the optimal dimensions of the borehole charge. *Explosion technology*. 1964, no. 54 (11), pp. 53 – 102. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Умаров Фарходбек Яркулович 1 — д-р техн. наук, профессор, директор филиала. Scopus ID 55827283800, e-mail: farkhodbek.umarov@yandex.ru, Насиров Уткир Φ атидинович¹ — заместитель директора по научной работе и инновациям, Scopus ID 56527108100, e-mail: unasirov@yandex.ru, Заиров Шерзод Шарипови $4^1 - д$ -р техн. наук. профессор, начальник сектора, e-mail: sher-z@mail.ru, Scopus ID 56527393000, Researcher ID ABC-5825-2020, ORCID ID: 0000-0002-1513-5683, Φ атхиддинов Аслиддинжон Уткир угли — PhD, и.о. доцента, Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета, Узбекистан, e-mail unasirov@yandex.ru, Hутфуллоев Γ афур Cубхонович¹ — д-р техн. наук, доцент, начальник учебно-методического отдела, Scopus ID 57224988095, e-mail: gafurcom@mail.ru, ¹ Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Алмалык, Узбекистан. Для контактов: Заиров Ш.Ш., e-mail: sher-z@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

F.Y. Umarov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of the branch, Scopus ID 55827283800, e-mail: farkhodbek.umarov@yandex.ru, *U.F. Nasirov*¹, Deputy Director for Research and Innovation, Scopus ID 56527108100, e-mail: unasirov@yandex.ru, Sh.Sh. Zairov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Sector, e-mail: sher-z@mail.ru. Scopus ID 56527393000, Researcher ID ABC-5825-2020, ORCID ID: 0000-0002-1513-5683. A.U. Fatkhiddinov, PhD, Acting Assistant Professor, Almalyk branch of Tashkent State Technical University, Almalyk, Republic of Uzbekistan, e-mail unasirov@yandex.ru, G.S. Nutfulloev¹, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Educational and Methodological Department, Scopus ID 57224988095, e-mail: gafurcom@mail.ru, ¹ Almalyk branch of NUST MISiS, Almalyk, Republic of Uzbekistan. Corresponding author: Sh.Sh. Zairov, e-mail: sher-z@mail.ru.

Получена редакцией 03.05.2023; получена после рецензии 02.11.2023; принята к печати 10.01.2024. Received by the editors 03.05.2023; received after the review 02.11.2023; accepted for printing 10.01.2024.