Разработка способов управления пылегазовым режимом при взрывании высоких уступов в глубоких карьерах

Заиров Ш. Ш.^{1*}, Худайбердиев О. Ж.¹, Норматова М. Ж.¹, Номдоров Р. У.²

¹ Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Республика Узбекистан

² Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Республика Узбекистан

*e-mail: sher-z@mail.ru

Реферат

Цель работы – разработка способа снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах.

Актуальность исследований. При ведении горных работ на карьерах буровзрывным способом выделяется огромное количество пыли и ядовитых газообразных продуктов, на интенсивность образования которых влияют метод взрывания, ассортимент используемых взрывчатых веществ (ВВ), метод бурения взрывных скважин, тип и вид забойки, обводненность массива, свойства горных пород, метеоусловия и др. Установлено, что при взрыве 1 кг ВВ из образуемых в среднем 900 л различных газов и газообразных продуктов 15 % являются ядовитыми и опасными для человека и окружающей среды. Для предотвращения пылегазовыделений в настоящее время применяют различные типы забоек, которые оказывают влияние не только на уменьшение объема выбросов, но и на эффективность и безопасность взрывных работ, что способствует наиболее полному использованию энергии взрыва и увеличивает время воздействия продуктов взрывчатого превращения. Несмотря на значительный объем проведенных исследований и достигнутые успехи в этом направлении, для глубоких карьеров необходимо определить рациональные параметры забойки в скважинных зарядах ВВ, уменьшить образование ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах, разработать методику получения поглотительного раствора, способного нейтрализовать ядовитые соединения после взрыва, и разработать эффективный способ снижения пылегазовыделений при массовых взрывах.

Методика проведения исследований. При решении поставленной задачи использованы комплексные методы исследований, включающие теоретические обобщения и экспериментальные исследования в лабораторных, полигонных и промышленных условиях, методы математического моделирования параметров забойки в скважинных зарядах ВВ, методы математического программирования с использованием современной компьютерной техники, а также методы математической статистики и корреляционного анализа результатов исследований.

Результаты. Определено изменение давления продуктов детонации в скважине с учетом процессов движения забойки из песка и поглощающей смеси различной длины. Установлено, что при использовании забойки из поглощающей смеси давление продуктов детонации и время вылета выше по сравнению с забойкой из песка. Установлена эффективная длина забойки в скважинных зарядах ВВ в зависимости от времени спада давления в скважине и длины забойки в различных сечениях скважины. Математическим моделированием параметров забойки при взрыве скважинных зарядов ВВ установлено изменение давления во взрывной полости от времени и длины забойки при ее вылете из скважины, а также продолжительность процесса вылета забойки и истечения продуктов детонации при взрыве ЭВВ в зависимости от длины забойки. Разработана методика определения параметров пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на глубоких карьерах. Разработана поглотительная смесь, позволяющая интенсифицировать процесс осаждения пыли над местом взрыва и уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ. Разработан способ снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на карьерах, позволяющий снизить концентрацию образовавшегося пылегазового облака.

Область применения результатов. Способ подавления пылегазовых выбросов был внедрен на карьере Мурунтау Навоийского горно-металлургического комбината. В результате интенсифицирован процесс осаждения пыли над местом взрыва, уменьшено загрязнение

окружающей территории, снижена концентрация диоксида азота на 30,1 %, оксида углерода на 28,6 % и сернистого ангидрида на 20,5 %. Полученные результаты могут найти применение на карьерах, где дробление горных пород производится буровзрывным способом.

Ключевые слова: карьер; буровзрывные работы; пылегазовое загрязнение атмосферы; скважинный заряд; забойка; способ снижения пылегазовыделений; образование ядовитых газов.

Введение. Анализ исследований по влиянию забоек различных видов и их параметров на эффективность дробления горных пород взрывом показал, что забойка оказывает существенное влияние на эффективность и безопасность взрывных работ, уменьшает потери энергии в процессе детонации заряда, увеличивает длительность воздействия газов взрыва на стенки скважины, уменьшает силу ударной воздушной волны и обеспечивает более полное протекание реакции взрыва [1–5].

Проблемам разрушения массива горных пород взрывом, подавления пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах и управлению энергией взрыва посвящено большое количество исследований [1–13]. Изучен процесс формирования и распространения пылегазового облака и разработаны методы снижения уровня пылевого загрязнения. Главными недостатками разработанных способов является трудоемкость процесса, невозможность размещения водяных струй и завес, ограниченность их дальноточности во взрывном блоке и внутри пылегазового облака, сложность регулирования соотношения гелеобразующих компонентов.

На глубоких карьерах Республики Узбекистан в большей мере применяются эмульсионные ВВ, которые, как и другие типы промышленных ВВ, оказывают негативное воздействие на окружающую среду и организм человека. Из-за того, что физико-механические свойства горных пород влияют на процесс образования ядовитых газов, единые нормы по данному показателю для различных эмульсионных ВВ отсутствуют. В связи с этим необходимо соблюдать условие, что эмульсионное ВВ при взрыве не должно выделять газов больше принятой нормы.

Исследование и математическое моделирование параметров забойки в скважинных зарядах взрывчатых веществ. В результате действия заряда ВВ в скважине забойка выводится из состояния покоя, двигается по скважине, и после ее вылета из скважины происходит истечение продуктов детонации.

Установлено, что при использовании сплошной забойки изменяется давление и после вылета она продолжает оказывать противодействие истекающим продуктам детонации. Если в забоечном пространстве используется сыпучий материал, забойка разлетается в разные стороны после вылета.

Рассмотрен процесс движения забойки по скважине с учетом законов сохранения энергии, количества движения и потери импульса на трение для сыпучей и поглощающей забоек [14].

Исследовано изменение давления продуктов детонации с учетом процессов движения по скважине забойки из песка и поглощающей смеси различной длины, в результате которого установлено, что при использовании забойки из поглощающей смеси давление продуктов детонации и время вылета выше по сравнению с забойкой из песка.

Время вывода забойки в скважине из неподвижного состояния, мс, определяется по формуле:

$$t_1 = \frac{\lambda_1 l_3 \rho_3 C_{np}}{P} \left(1 + \lambda_2 \frac{\rho}{\rho_3} \right) \left(1 + \lambda_3 \frac{\rho_3 C_{np}^2}{C_q} \right), \quad (1)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем и являющиеся функцией параметров d_3/l_3 ; d_3 – диаметр забойки, м; l_3 – длина

забойки, м; ρ_3 – плотность забойки, кг/м³; C_{np} – скорость продольных волн в забоечном материале, м/с; P – давление продуктов детонации, МПа; ρ – плотность продуктов детонации, кг/м³; C_q – сцепление частиц забоечного материала, кг/см².

Время движения забойки из поглощающей смеси в скважинном заряде ВВ, мс, определяется по формуле:

$$t_2 = \sqrt{\frac{\nu l_3}{\eta P}} \ln \left| \frac{\eta z}{1 - \eta l_3} + 1 \right|, \quad (2)$$

где η – коэффициент вязкости; ν – плотность забоечного материала, кг/м³; z – время движения забойки, м/с.

Время движения песчаной забойки в скважинном заряде ВВ, мс, определяется по формуле:

$$t_2 = \sqrt{\frac{\nu l_3}{k^* P}} \ln \left| \frac{k^* z}{1 - k^* l_3} + 1 \right|, \quad (3)$$

где k^* – коэффициент трения.

В результате математического моделирования параметров забойки при взрыве скважинных зарядов ВВ установлено изменение давления во взрывной полости в зависимости от времени и длины песчаной забойки при ее вылете из скважины, а также продолжительности процесса вылета забойки и истечения продуктов детонации при взрыве ЭВВ в зависимости от длины забойки.

Давление продуктов детонации в скважине, МПа, определяется по формулам:

$$P_c(t_1) = \frac{\lambda_1 l_3 \rho_3 C_{np}}{t_1} \left(1 + \lambda_2 \frac{\rho}{\rho_3} \right) \left(1 + \lambda_3 \frac{\rho_3 C_{np}^2}{C_q} \right), \quad (4)$$

при использовании забойки из поглощающей смеси:

$$P_c(t_2) = \nu l_3 \left(\ln \left| \frac{\eta z}{1 - \eta l_3} \right| \right)^2 / t_2, \quad (5)$$

при использовании песчаной забойки:

$$P_c(t_2) = \nu l_3 \left(\ln \left| \frac{k^* z}{1 - k^* l_3} \right| \right)^2 / t_2. \quad (6)$$

В табл. 1 приведено изменение времени движения забойки в скважине в зависимости от длины забойки, в табл. 2 – изменение давления продуктов детонации в скважине P_c в зависимости от времени с учетом длины забойки.

В результате исследования зависимости времени спада давления в скважине от длины забойки в различных сечениях скважины и сопоставления ее с временем полного квазистатического нагружения горных пород определена эффективная длина забойки, величина которой составляет 4,3–5,0 м.

Исследование образования ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах эмульсионными взрывчатыми веществами и разработка методики получения поглотительного раствора, способного нейтрализовать ядовитые соединения после взрыва. Исследованиями [15, 16] установлено, что образование ядовитых газов при производстве массовых взрывов зависит от состава, кислородного баланса и физико-химических свойств ЭВВ. Повышение плотности ЭВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит к росту количества выделяющихся ядовитых газов, так как увеличение плотности ЭВВ приводит к снижению полноты его детонации.

Таблица 1. Изменение времени движения забойки в скважине в зависимости от длины забойки

Table 1. Change in the time of stemming motion in the well depending on the stemming length

Время, мс	$l_s = 5$ м, песчаная забойка	$l_s = 5$ м, поглощающая забойка	$l_s = 6$ м, поглощающая забойка	$l_s = 8$ м, поглощающая забойка
t_1	21	20	24	32
t_2	2,5	1,82	1,78	1,68

Установлено, что состав продуктов взрыва и количество ядовитых газов зависят от физических свойств горных пород. С увеличением крепости горных пород выделение оксида углерода увеличивается, а оксидов азота уменьшается.

Исследовано максимальное энерговыделение для ЭВВ с нулевым или положительным кислородным балансом. При высоких начальных температуре и давлении в начальный момент взрыва возможна частичная диссоциация CO_2 и H_2O , а также образование эндотермических соединений NO и C_2N_2 и др.

Составлена реакция взрывчатого превращения для ЭВВ с отрицательным кислородным балансом, рассмотрен метод максимального газообразования по принципу Ле Шателье–Малляра и произведен расчет состава продуктов взрыва по принципам Ле Шателье–Малляра и Бринкли–Вильсона.

Установлено, что при одинаковых давлениях и температурах диссоциация CO_2 развита в большей степени, чем диссоциация H_2O , вследствие этого реакция образования H_2O будет превалировать над реакцией образования CO_2 .

Разработана методика и произведен расчет параметров пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на глубоких карьерах, в результате которого установлено, что при прохождении взрывных газов через поглощающую смесь в забоечной части скважины происходит конвективная теплоотдача от газа смеси и потеря доли парциального давления на стенки скважины в месте расположения смеси. За счет потери тепла пылегазовое облако теряет часть своей энергии, что ведет к снижению высоты его подъема и тем самым предотвращает вынос его за пределы карьерного пространства.

Установлено, что масса пыли, выделяемой из блока при взрыве одной скважины, зависит от плотности горных пород, объема взрываемого блока, коэффициента разрыхления горных пород, размеров пылинок и кусков горных пород во взрывном блоке.

Разработан и обоснован метод получения поглотительных смесей при проведении взрывных работ. В результате испытания различных типов органических и неорганических соединений подобраны три соединения – негашеная известь, бентонит и соапсток, обладающие высокой вязущей и поглотительной способно-

стью. Данные соединения при смешивании с водой обладают способностью одновременно расширяться, имеют вяжущие и быстро твердеющие свойства, необходимые для пыле- и газоподавления.

Разработка и промышленное испытание способа снижения пылегазовых делений при ведении взрывных работ на глубоких карьерах. Разработан способ подавления пылегазовых выбросов при взрывных работах на карьерах с использованием в забоечном пространстве скважин густого наполнителя, позволяющего улучшить экологическую обстановку на взрываемом блоке и близлежащей территории [8–11]. На рис. 1 показана схема заряжания каждой скважины при реализации предлагаемого способа пылеподавления с формированием густого наполнителя в забоечном пространстве скважины в герметичной оболочке.

Таблица 2. Изменение давления продуктов детонации в скважине в зависимости от времени с учетом длины забойки

Table 2. Change in detonation products pressure in the well depending on time with the account of the stemming length

Давление, МПа	$l_3 = 5$ м, песчаная забойка	$l_3 = 5$ м, поглощающая забойка	$l_3 = 6$ м, поглощающая забойка	$l_3 = 8$ м, поглощающая забойка
$P_c(t_1)$	12,5	11,27	11,27	11,27
$P_c(t_2)$	4,3	3,5	3,7	6,8

Согласно данному способу на месте производства массового взрыва бурятся скважины и заполняются ВВ с установкой промежуточных детонаторов по паспорту ведения БВР для данного карьера. Забоечную часть каждой скважины заполняют густым наполнителем, состоящим из известкового молока (1 кг извести на 20 л воды), соапстока (отхода масложирового комбината) и глиноподобной или супесеподобной горной породы (бентонит, супесь и т. п.) в пропорции 5 : 1 : 1. Густой наполнитель подготавливается отдельно на месте производства БВР в герметичной емкости и помещается в забоечное пространство в полиэтиленовом рукаве. Диаметр полиэтиленового рукава равен диаметру скважины, а его высота соответствует высоте забоечного пространства.

Соапсток выделяется при рафинировании растительных масел. Содержание жиров и омыленных жирных кислот в соапстоках составляет 50–70 %. Эти кислоты являются слабыми собирателями, но значительно селективны и обладают хорошими пенообразующими свойствами.

Состав соапстока приведен далее:

Жирность (общий жир)	40–61 %
В том числе нейтральный жир.....	23–28 %
Нежировые вещества (госсипол).....	3–12,5 %
Неомыляемые вещества	2–2,7 %
Фосфорсодержащие вещества	0,8–1,0 %
Внешний вид и цвет	Коричневый мазеобразный
Кислотное число	71–100 кг/КОН
Растворимость в ацетоне.....	80 %

Горный массив разрушается продуктами детонации ВВ, и переизмельченная порода, находящаяся близко к заряду, выбрасывается газообразными продуктами детонации, образуя пылегазовое облако. При этом в скважине из-за мгновенного сжатия под давлением газообразных продуктов детонации повышается температура густого наполнителя. В свою очередь, густой наполнитель, передавая долю

парциального давления на стенки скважины, усиливает запирающий эффект продуктам детонации ВВ из скважины. Таким образом, происходит дополнительная полезная работа разрушения горного массива.

В результате слипания мелких частиц пыли в пылегазовом облаке происходит их выпадение и нейтрализация образуемых при взрыве ядовитых газов.

При вступлении в химическую реакцию ядовитых газов с густым наполнителем образуется жидкая фаза кислоты, осаждаемая также на месте производства массового взрыва. Таким образом, в окружающую среду не попадают ядовитые газы и предотвращается появление кислотных дождей.

Разработанный способ подавления пылегазовых выбросов при взрывных работах на карьерах внедрен на карьере Мурунтау ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат». В результате внедрения снижена концентрация диоксида азота на 30,1 %, оксида углерода на 28,6 % и сернистого ангидрида на 20,5 %.

Выводы и область применения результатов. Разработанная методика исследования параметров пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на глубоких карьерах позволяет определить давление газов взрыва в скважине, которое изменяется прямо пропорционально атмосферному давлению, объему газов ВВ, температуре взрыва и обратно пропорционально объему скважины. Разработан и обоснован метод получения поглолительных смесей при проведении взрывных работ. В результате испытания различных типов органических и неорганических соединений подобраны три соединения – негашеная известь, бентонит и соапсток, обладающие высокой вяжущей и поглолительной способностью. Данные соединения при смешивании с водой обладают способностью одновременно расширяться, имеют вяжущие и быстро твердеющие свойства, необходимые для пыле- и газоподавления. Разработан способ снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на карьерах, отличающийся тем, что в забоечном пространстве скважин формируется густой наполнитель в герметичной оболочке, состоящей из известкового молока, соапстока и бентонита в соотношении 5 : 1 : 1. Данный способ позволяет интенсифицировать процесс осаждения пыли над местом взрыва и уменьшить загрязнение окружающей

Рис. 1. Способ снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на глубоких карьерах: 1 – скважина; 2 – взрывчатое вещество; 3 – промежуточный детонатор; 4 – средство инициирования; 5 – поглолительная смесь

Fig. 1. A method of reducing dust and gas emissions during blasting operations in open pits:

1 – well; 2 – explosive; 3 – booster; 4 – initiator; 5 – absorbing mixture

территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ. Результаты опытно-промышленных испытаний разработанного способа снижения пылегазовыделений показали снижение концентрации образовавшегося пылегазового облака (диоксида азота на 30,1 %, оксида углерода на 28,6 % и сернистого ангидрида на 20,5 %).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сытенков В. Н. Управление пылегазовым режимом глубоких карьеров. М.: Геоинформцентр, 2003. 288 с.
2. Ahmed R. Comportement et fragmentation dynamique des matériaux quasi fragiles. Application à la Fragmentation des Roches par Explosifs; Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris; 2004. 210 p.
3. Bernard T. maîtrise de l'énergie explosive: Action de l'explosif sur le milieu environnant; thèse de l'Institut de Géodynamique URA-CNRS; 1995. 187 p.

4. Donzè F. V., Bouchez J., Magnier S. A. Modeling fractures in rock blasting. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 1997. No. 34(8). P. 1153–1163.
5. Maerz N. H. Reconstructing 3D block size distributions from 2d measurements on sections. *Proc. ISRM // Fragblast 5 Workshop and Short Course on Fragmentation Measurement*, Montreal, Publ. A. A. Balkema, 1996. P. 39–43.
6. Maerz N. H., Palangio T. C., Franklin J. A. Wip Frag image based granulometry system // *Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*. Montreal, Quebec, Canada, 1996. P. 91–99.
7. Munjiza A., Owen R. J., Bianic N. A. Combined finite-discrete element method in transient dynamics of fracturing solids. *Eng. Computations*. 1995. No. 12. P. 145–174.
8. Peter B. Optimisation of fragmentation and comminution at boliden mineral. *Aitik Operation*, 2005. 179 p.
9. Rolf S. Paine, D. K. Holmes, Harri E. Clark. Presplit blasting at the niagara power project // *The Explosives Engineer*. 2003. Vol. 39. No. 3. P. 72–92.
10. Rossmanith H. P. The mechanics and physics of advanced blasting-waves. *Shocks, Fracture, Damage, Impact and Profit*, Short Course Frag Blast 8, 2006. 214 p.
11. Махмудов Д. Р., Петросов Ю. Э. Технология производства буровзрывных работ на глубоких карьерах Узбекистана // *ГИАБ*. 2017. № 5. С. 331–337.
12. Умаров Ф. Я., Махмудов Д. Р., Петросов Ю. Э. Исследование снижения прочностных и деформационных свойств различных горных пород при многократных взрывных нагрузках // *Горный вестник Узбекистана*. 2017. № 4. С. 14–18.
13. Умаров Ф. Я., Махмудов Д. Р., Петросов Ю. Э., Мардонов И. Н. Районирование карьерного поля Кальмакыр по буримости и взрываемости // *Вестник ТГТУ*. 2017. № 1. С. 229–235.
14. Заиров Ш. Ш., Тухташев А. Б., Норматова М. Ж., Рустамов О. И. Исследование влияния забойки скважинного заряда на эффективность разрушения и пылеподавления // *Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития: матер. Республ. науч.-техн. конф. Навои, 15–16 ноября 2016*. С. 41–42.
15. Мислибаев И. Т., Заиров Ш. Ш., Тухташев А. Б., Норматова М. Ж. Уменьшение пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах // *Известия вузов. Горный журнал*. 2017. № 2. С. 39–43.
16. Заиров Ш. Ш., Норматова М. Ж. Разработка способа снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на карьерах // *Горный вестник Узбекистана*. 2016. № 4. С. 33–34.

Поступила в редакцию 19 декабря 2019 года

Сведения об авторах:

Заиров Шерзод Шарипович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Навоийского государственного горного института. E-mail: sher-z@mail.ru

Худайбердиев Ойбек Жумаевич – старший преподаватель кафедры высшей математики и информационных технологий Навоийского государственного горного института. E-mail: o.khudaiberdiev@inbox.uz

Норматова Муборак Жабборовна – заместитель декана горного факультета Навоийского государственного горного института. E-mail: m.normatova@inbox.uz

Номдорев Рустам Уралович – ассистент кафедры горного дела и геодезии Каршинского инженерно-экономического института. E-mail: r.nomdorov@inbox.uz

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-113-121

Developing the methods of controlling dust and gas conditions when blasting high benches in deep pits

Sherzod Sh. Zairov¹, Oibek Zh. Khudaiberdiev¹, Muborak Zh. Normatova¹, Rustam U. Nomdorov²

¹ Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan.

² Karshi Engineering and Economic Institute, Karshi, Uzbekistan.

Abstract

Research aim is to develop a method of reducing dust and gas emissions concentration at bulk explosions in open pits.

Research relevance. When drilling and blasting in open pits, a huge amount of dust and toxic gaseous products is released, and the rate of their formation is affected by the blasting method, the range of explosives used, the method of drilling blast holes, type and sort of stemming, massif water content, rock properties, meteorological conditions, etc. It has been established that in an explosion of 1 kg of explosives, 15% from an average of 900 liters of various gases and gaseous products formed are toxic and dangerous to humans and the environment. To prevent dust and gas emissions, various types of tamping are currently used, which affect not only emissions reduction, but also the efficiency and safety of blasting contributing to the fullest use of explosion energy and increasing the exposure time of the products of explosive

transformation. Despite the significant amount of research and successes achieved in this direction, for deep pits it is necessary to determine the rational parameters of stemming in borehole explosive charges, reduce the formation of toxic gases released in bulk explosions, develop a method of producing an absorption solution capable of neutralizing toxic compounds after an explosion, and develop an effective way to reduce dust and gas emissions in bulk explosions.

Research methodology. To solve this problem, integrated research methods were used, including theoretical generalizations and experimental studies in laboratory, testing ground and industrial conditions, methods of mathematical modeling of stemming parameters in borehole explosive charges, methods of mathematical programming using modern computer equipment, as well as methods of mathematical statistics and correlation analysis of research results.

Results. Detonation products pressure change in the well has been determined taking into account motion processes of sand and absorbing mixture stemming of various lengths. It has been established that when using stemming made of absorbing mixture, detonation products pressure and escape time are higher compared to sand stemming. The effective stemming length in borehole explosive charges has been established depending on well pressure fall time and stemming length in different sections of the well. Mathematical modeling of stemming parameters in the explosion of borehole explosive charges established the change in pressure in the blast chamber as a function of stemming time and length during its escape from the well, as well as the of stemming escape duration and expiration of detonation products during emulsion explosive blast depending on stemming length. A method has been developed of dust and gas atmospheric pollution parameters determination during the production of bulk explosions in deep pits. An absorption mixture has been developed, which makes it possible to intensify the process of dust deposition above the explosion site and reduce pollution of the surrounding quarry, which favorably affects the environmental situation in the mining region. A method has been developed to reduce dust and gas emissions during blasting operations in open pits, which allows to reduce the concentration of dust and gas clouds formed.

Scope of the results. A method of suppressing dust and gas emissions has been introduced at the Muruntau open pit of the Navoi Mining and Metallurgical Combinat. As a result, the process of dust deposition above the explosion site has been intensified, pollution of the surrounding open pit area has been reduced, the concentration of nitrogen dioxide has been reduced by 30.1%, carbon monoxide by 28.6% and sulfur dioxide by 20.5%. The results can be used in quarries where rock crushing is carried out using a blasting method.

Key words: open pit; drilling and blasting operations; dust and gas atmospheric pollution; borehole charge; stemming; dust and gas emissions reduction method; toxic gases formation.

REFERENCES

1. Sytenkov V. N. *Management of dust and gas regime of deep pits*. Moscow: Geoinformtsentr Publishing; 2003. (In Russ.)
2. Ahmed R. *Comportement et Fragmentation Dynamique des Matériaux QuasiFragiles. Application à la Fragmentation des Roches par Explosifs*; Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris; 2004. 210 p.
3. Bernard T. *Maitrise de l'Energie Explosive: Action de l'explosif sur le milieu environnant*; thèse de l'Institut de Géodynamique URA-CNRS; 1995. 187 p.
4. Donzé F. V., Bouchez J., Magnier S. A. Modeling Fractures in Rock Blasting. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 34(8); 1153–1163; 1997.
5. Maerz N. H. Reconstructing 3D Block Size Distributions from 2D Measurements on Sections. *Proc. ISRM. Fragblast 5 Workshop and Short Course on Fragmentation Measurement, Montreal, Publ. A. A. Balkema*; 1996. p. 39–43.
6. Maerz N. H. Wip Frag image based granulometry system. *Proceedings of the FRAGBLAST5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal. Quebec. Canada*; 1996. p. 91–99.
7. Munjiza A., Owen R. J., Bianic N. A. Combined finite-discrete element method in transient dynamics of fracturing solids. *Eng. Computations*. 1995; 12: 145–174.
8. Peter B. Optimisation of fragmentation and comminution at boliden mineral. *Aitik Operation*; 2005. 179 p.
9. Rolf S. Paine, D. K. Holmes, Harri E. Clark. Presplit blasting at the niagara power project. *The Explosives Engineer*. 2003; 39 (3): 72–92.
10. Rossmanith H. P. The mechanics and physics of advanced blasting-waves. *Shocks, Fracture, Damage, Impact and Profit, Short Course Frag Blast 8, 2006*. 214 p.
11. Makhmudov D. R., Petrosov Iu. E. Drilling and blasting technology in the deep quarries of Uzbekistan. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Journal of Uzbekistan*. 2017; 5: 331–337. (In Russ.)
12. Umarov F. Ia., Makhmudov D. R., Petrosov Iu. E., Mardonov I. N. The study of reducing the strength and deformation properties of various rocks with multiple explosive loads. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Journal of Uzbekistan*. 2017; 4: 14–18. (In Russ.)
13. Umarov F. Ia., Makhmudov D. R., Petrosov Iu. E. Zoning of the Kalmykir quarry field by drillability and explosiveness. *Vestnik TGTU = Transaction of the TSTU*. 2017; 1: 229–235. (In Russ.)
14. Zairov Sh. Sh., Tukhtashev A. B., Normatova M. Zh., Rustamov O. I. Investigation of the effect of stemming a borehole charge on the efficiency of destruction and dust suppression. In: *Mining and metallurgical complex: achievements, problems and prospects of innovative development: proc. of republican scientific and technical conference*. Navoi, 15–16 November, 2016. p. 41–42. (In Russ.)

15. Mislibaev I. T., Zairov Sh. Sh., Tukhtashev A. B., Normatova M. Zh. Reduction of dust and gas pollution of the atmosphere under the production of bulk explosions at open pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2017; 2: 39–43. (In Russ.)

16. Zairov Sh. Sh., Normatova M. Zh. Development of a method for reducing dust and gas emissions during blasting operations in open pits. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Journal of Uzbekistan*. 2016; 4: 33–34. (In Russ.)

Received 19 December 2019

Information about authors:

Sherzod Sh. Zairov – DSc (Engineering), professor of Mining Department, Navoi State Mining Institute. E-mail: sher-z@mail.ru

Oibek Zh. Khudaiberdiev – senior lecturer, Department of Higher Mathematics and Information Technologies, Navoi State Mining Institute. E-mail: o.khudaiberdiev@inbox.uz

Muborak Zh. Normatova – Dean Deputy, Mining Faculty, Navoi State Mining Institute. E-mail: m.normatova@inbox.uz

Rustam U. Nomdorov – assistant lecturer, Department of Mining and Geodesy, Karshi Engineering and Economic Institute. E-mail: r.nomdorov@inbox.uz

Для цитирования: Заиров Ш. Ш., Худайбердиев О. Ж., Норматова М. Ж., Номдоров Р. У. Разработка способов управления пылегазовым режимом при взрывании высоких уступов в глубоких карьерах // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 4. С. 113–121. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-113-121

For citation: Zairov Sh. Sh., Khudaiberdiev O. Zh., Normatova M. Zh., Nomdorov R. U. Developing the methods of controlling dust and gas conditions when blasting high benches in deep pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 4: 113–121 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-113-121