

Инструментальные исследования надежности критериев опасности массовых взрывов на разрезах Кузбасса для окружающих объектов и среды*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-37-43>

В настоящее время в филиалах АО «УК «Кузбассразрезуголь» выполняется работа по оптимизации буровзрывных работ с целью повышения эффективности горного производства и снижения негативных проявлений промышленных массовых взрывов, проводимых на участках открытых горных работ. В связи с этим были проведены опытно-промышленные взрывы (ОПВ) на участках открытых горных работ организации. В данной статье представлены результаты выполненных инструментальных измерений при проведении ОПВ на участках открытых горных работ филиалов АО «УК «Кузбассразрезуголь». Целью исследования явилась проверка надежности критериев оценки опасности негативных проявлений массовых взрывов на выбранных для проведения ОПВ объектах.

Ключевые слова: открытые горные работы, промышленные массовые взрывы, ударная воздушная волна, сейсмическое воздействие, скважинный заряд, вибрации грунта, разлет кусков породы.

Для цитирования: Инструментальные исследования надежности критериев опасности массовых взрывов на разрезах Кузбасса для окружающих объектов и среды / В.С. Зыков, Д.Н. Батраков, А.И. Басарнов и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 37-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-37-43>.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с высокой потребностью в энергетических ресурсах угледобывающая отрасль в последние десятилетия постоянно наращивает темпы добычи угля. При этом в общем объеме добыва-

ЗЫКОВ В.С.

Доктор техн. наук, профессор,
заместитель генерального директора
по научной работе АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: v.zykov@nc-vostnii.ru

БАТРАКОВ Д.Н.

Заведующий лабораторией
«Безопасность взрывных работ»
АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

БАСАРНОВ А.И.

Научный сотрудник лаборатории
«Безопасность взрывных работ»
АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

НЕСТЕРЕНКО А.И.

Инженер лаборатории
«Безопасность взрывных работ»
АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия
e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

* Исследования проведены в рамках мероприятия № 1 Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р и Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 г.

емого угля значительно выросла доля применения открытой геотехнологии и составляет в настоящее время около 70% [1, 2].

Расширяются границы разрезов и фронтов ведения открытых горных работ, которые приближаются к границам промышленной и жилой застроек. Увеличивается влияние взрывных работ на окружающую среду [3, 4].

В этой связи актуальной является работа по оптимизации буровзрывных работ с целью повышения эффективности горного производства и снижения негативных проявлений при промышленных массовых взрывах, проводимых на участках открытых горных работ.

Основными негативными проявлениями массового взрыва являются следующие:

- разлет отдельных кусков породы;
- ударная воздушная волна (далее – УВВ);
- выброс токсичных газообразных продуктов взрыва в атмосферу;
- сейсмическое воздействие на горный массив и охраняемые объекты.

Вибрации грунта, вызванные взрывом, являются неизбежным побочным явлением, способным привести к повреждению близлежащих конструкций, поэтому они должны контролироваться, и по результатам измерений необходимо проводить мероприятия по их снижению [5].

Перечисленные негативные проявления массовых взрывов приводят к нарушению конструкций сооружений, расположенных вблизи мест проведения работ [7-11]. Поэтому ведение взрывных работ в таких условиях требует взвешенного подхода как к проектированию массовых взрывов, так и к организации их проведения.

Научным центром ВостНИИ в течение 2021 г. выполнялись инструментальные измерения скоростей смещения горного массива и интенсивности (давления во фронте) ударных воздушных волн на заданных расстояниях от взрываемых блоков, скорости детонации основного взрывчатого вещества (ВВ) в скважинах, времени начала выхода забойки из устья скважины от начала воздействия газов на забойку при проведении серии из пятнадцати массовых опытно-промышленных взрывов, которые проводились на участках открытых горных работ в пяти филиалах АО «УК «Кузбассразрезуголь»: Кедровский угольный разрез; Краснобродский угольный разрез; Бачатский угольный разрез; Талдинский угольный разрез; Моховский угольный разрез.

Испытания проводились рабочей группой в составе представителей АО «УК «Кузбассразрезуголь», ООО «КРУ-Взрывпром», Сибирское управление Ростехнадзора и АО «НЦ ВостНИИ».

По итогам проведенных испытаний была разработана «Программа и методика проведения опытно-промышленных взрывов на участках открытых горных работ филиалов АО «УК «Кузбассразрезуголь»».

ЦЕЛИ ИСПЫТАНИЙ

Целями проведения серии из пятнадцати опытно-промышленных массовых взрывов являлись:

– получение результатов инструментальных измерений как материалов для объективной оценки и отработки параметров буровзрывных работ при оптимизации производственных процессов на участках ОГР в филиалах АО «УК «Кузбассразрезуголь»;

- анализ полученных результатов при проведении опытно-промышленных массовых взрывов;
- накопление достаточного практического опыта в области взрывных работ с целью разработки предложений по внесению изменений в федеральные, региональные и внутренние нормативные документы.

Для наиболее объективной оценки результатов массовых взрывов производились инструментальные измерения следующих параметров:

- скоростей детонации взрывчатого вещества (далее – ВВ) в скважине;
- интервалов времени от момента начала воздействия давления газов продуктов взрыва на забойку до начала выхода забойки из устьев скважин;
- скоростей смещения горного массива;
- интенсивности ударной воздушной волны на заданном расстоянии от взрыва.

МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

Для наибольшей достоверности инструментальные измерения производились на первой либо последней по времени срабатывания скважине. Скважина заряжалась взрывчатыми веществами третьей (четвертой) по порядку. Этим обеспечивалась необходимая плотность ВВ после установившегося процесса смешения компонентов на выходе из смесительно-зарядной машины (СЗМ).

Определение количественных значений величины забойки и оценка ее качества выполнялись по результатам инструментальных измерений следующих параметров:

- времени раскрытия устья скважины от момента срабатывания боевика до выхода продуктов взрыва и забоечного материала из устья скважины;
- интенсивности (давления во фронте) ударной воздушной волны на заданном расстоянии.

Оценка правильности выбранной конструкции скважинного заряда производилась с использованием измерений скорости детонации скважинного заряда и модулей максимальных скоростей смещения горного массива на заданном расстоянии.

Регистрация скорости детонации взрывчатого вещества в скважине и времени раскрытия устья скважины производилась измерителем временных интервалов ИВИ-4 (рис. 1а) с точностью измерений ± 200 нс. При этом временные интервалы тестера-калибратора составляли между первым и вторым каналами 40 мкс; между вторым и третьим каналами – 80 мкс; между третьим и четвертым каналами – 120 мкс. Погрешность формирования импульсов тестера-калибратора составляет ± 30 нс.

Для регистрации скорости детонации взрывчатого вещества в скважине и времени раскрытия устья скважины

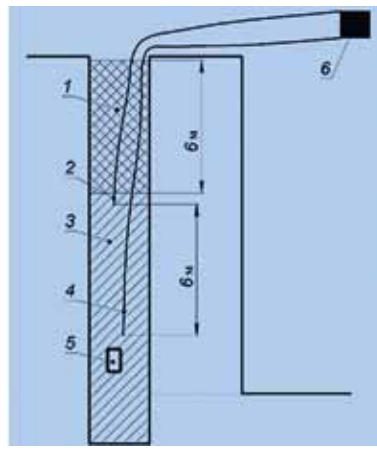
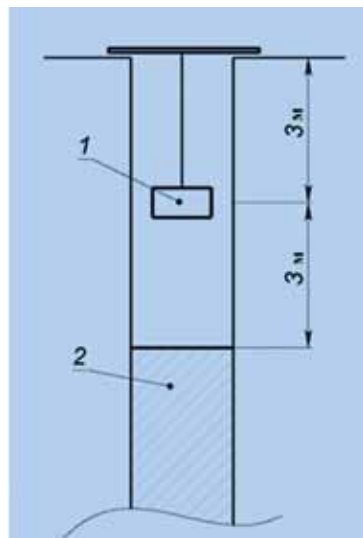
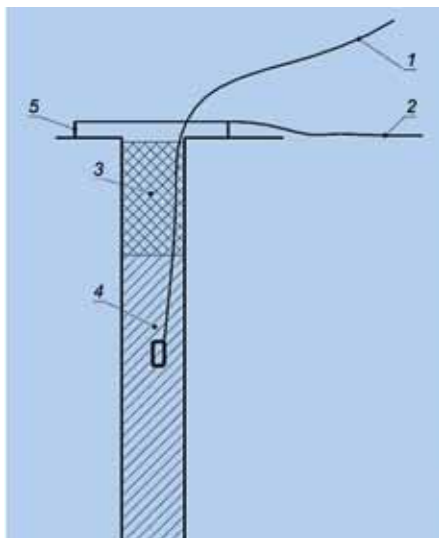


Рис. 1. Измеритель временных интервалов ИВИ-4 и схемы установки датчиков каналов регистрации скорости детонации ВВ и времени раскрытия устья скважины

Fig. 1. The IVI-4 Time Interval Meter and installation diagrams for sensors of the detonation velocity and borehole collar opening time data acquisition lines



подключались (см. рис. 1б): к каналу 1 измерителя – кабель от датчика (действие датчика на «закрывание» срабатывания боевика; к каналам 2 и 3 – кабели от датчиков прохождения детонационной волны (действие датчиков на «закрывание»).

К каналу 4 подключался кабель от датчика начала раскрытия устья скважины (действие датчика на «разрыв» и на «закрывание»). Схема установки датчиков каналов 1 и 4 приведена на рис. 1в. Датчик канала 2 должен был находиться выше боевика на расстоянии 0,5 м, датчик канала 3 – выше датчика 2 на расстоянии от 3 до 6 м. Расстояние от взрывающейся скважины до измерителя временных интервалов должно было быть не менее 100 м.

Оборудование для измерения скоростей смещения горного массива и интенсивности ударной воздушной волны для заряда конструкции (см. рис. 1г) устанавливалось на расстоянии от взрывающегося блока, определяемом согласно федеральным нормам и правилам [12] по формуле:

$$r_{\text{разл}} = 1250 \cdot \eta_3 \sqrt{f \cdot d_3 / (1 + \eta_{\text{заб}})} \cdot a,$$

где η_3 – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом; $\eta_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважины забойкой; f – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова; d_3 – диаметр взрывающейся скважины, м; a – расстояние между скважинами в ряду или между рядами, м.

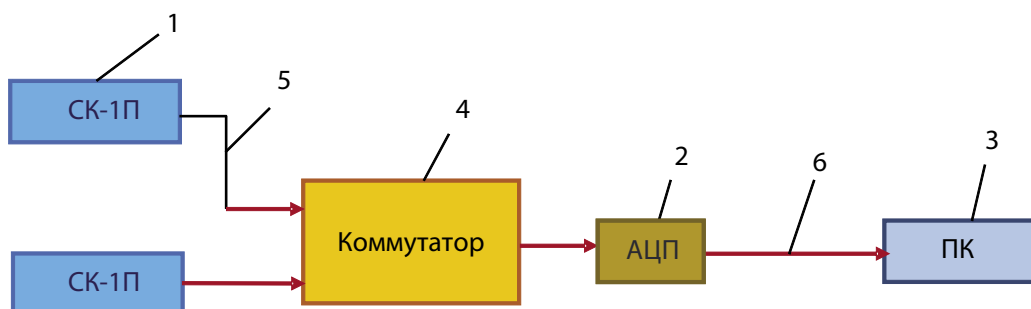


Рис. 2. Блок-схема переносной сейсмостанции
Fig. 2. A block diagram of the portable seismic station

Технические характеристики сейсмоприемника СК-1П

Основные параметры, размеры и характеристики	Количественные и качественные характеристики по ТУ z; x; y		Фактические данные по составляющим		
	норма	допуск	z	x	y
Частота собственных колебаний, Гц	1	± 5%	1,4	0,98	1,02
Значение величины затуханий при кОм = 10, кОм ± 5%	0,55	± 10%	0,55	0,54	0,65
Коэффициент преобразования на частоте 20 Гц; 10 Гц при разомкнутой цепи рабочей обмотки	140	± 12%	124	130	125
Внутреннее сопротивление рабочей обмотки, кОм	2000	± 10%	1,8	1,9	1,9
Сопротивление вспомогательной обмотки, Ом	105	± 10%	115	112	110
Сопротивление изоляции, МОм	10	не менее	50	45	50

Таблица 2

Технические параметры модуля E-14-440

Основные параметры, размеры и характеристики	Значение
Количество каналов	16 или 32
Разрядность	14 бит
Разрядность, рассчитанная по отношению сигнал/(шум + гармоники), полученная при оцифровке синусоидного сигнала частотой 10 кГц с амплитудой 2,5 В при частоте запуска АЦП 400 кГц	13,2 бит при $K_y^* = 4$
Время преобразования, мкс	2,5
Входное сопротивление, МОм, не менее	1
Значения входного сигнала, В при K_y , равном 1, 4, 16 и 64	± 10, ± 2,5, ± 0,625, ± 0,156
Максимальная частота преобразования, кГц	400

* K_y — коэффициент усиления.

Полученное безопасное расстояние и есть фиксированное расстояние для всех остальных измерений – измерений скоростей смещения горного массива и интенсивности ударной воздушной волны на заданном расстоянии от взрыва.

Для регистрации сейсмических колебаний и ударной воздушной волны при производстве опытно-промышленных массовых взрывов устанавливалось следующее оборудование:

- сейсмоприемники СК-1П (табл. 1);
- сейсмограф Instantel Micromate (микрофон для регистрации УВВ ориентируется в направлении взрываемого блока).

Регистрация сейсмических колебаний в процессе взрывов производилась на основе записи аналоговых электрических сигналов сейсмоприемников на персональный компьютер (ПК). Аналоговый электрический сигнал преобразовывался в цифровой код с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) модели E-14-440. Запись сигналов с датчиков осуществлялась на жесткий диск ноутбука. Переносная сейсмостанция состояла из сейсмоприемника, коммутатора, АЦП, кабелей для коммутации внешнего модуля АЦП, сейсмоприемника и персонального компьютера (рис. 2).

Регистрация горизонтальных и вертикальных колебаний выполнялась с использованием трехосевых сейс-

моприемников СК-1П, технические характеристики которых приведены в табл. 1.

Технические параметры модуля E-14-440 приведены в табл. 2.

Регистрация сейсмических сигналов АЦП модели E-14-440 осуществлялась с помощью программы «L-GRAF». Для преобразования значений цифрового сигнала, записанного в программе «L-GRAF» с АЦП E-14-440, в значения скорости смещения и определения модуля вектора смещения использовалась программа «POWER GRAF».

Зарегистрированные данные обрабатывались следующим образом: значения сигналов (мВ) по осям, полученные с сейсмоприемников, согласно коэффициентам преобразования переводились в мм/сек. Затем определялись модули векторов скоростей смещения по формуле:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}.$$

Данные, полученные линейным микрофоном, передавались в блок Instantel Micromate через кабель. Результаты измерений были выведены непосредственно на монитор сейсмографа в единицах измерения, выбираемых пользователем: фунтах на квадратный дюйм (PSI), паскалях (Па) или децибелах (дБ). Запрограммированный минимальный уровень чувствительности линейного микрофона при измерении уровня избыточного давления воздуха составлял 100 дБ.

Регистрация колебаний грунта выполнялась сейсмоприемником Geophone в составе сейсмографа InstanTel Micromate. Данные, полученные от сейсмоприемника, передавались в блок InstanTel Micromate через кабель.

Результаты измерений колебаний грунта были выведены непосредственно на монитор сейсмографа в миллиметрах в секунду (мм/с).

Запрограммированный минимальный уровень чувствительности сейсмографа при измерении колебаний грунта составил 0,127 мм/с.

КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

При проведении серии из пятнадцати опытно-промышленных массовых взрывов испробованы различ-

ные конструкции скважинных зарядов. По каждой конструкции выполнены инструментальные замеры (скорости детонации взрывчатого вещества в скважине, времени раскрытия устьев скважин, скорости смещения горного массива, интенсивности ударной воздушной волны), а также проведена оценка фактического разлета отдельных кусков горной породы при проведении массовых взрывов.

Для инициирования ВВ применены неэлектрическая система инициирования «ИСКРА», промежуточный детонатор типа «шашка ПТ-П850, ТГФ-850».

В качестве поверхностных замедлителей использованы устройства инициирования с замедлителями поверхностными ИСКРА-П.

Таблица 3

Данные измерений параметров опытно-промышленных взрывов на разрезах Кузбасса

Дата, № протокола	Участок, горизонт от/до	Максимальный модуль скорости смещения, мм/с	Интенсивность ударной воздушной волны, дБ (Па)	Скорость детонации ВВ в скважине, м/сек	Время между сигналами датчиков в скважинах, мкс	Разлет отдельных кусков
Кедровский угольный разрез						
22.01.2021, 01/1–21	Блок № 13, +287, –290	1,278	109,8 (6,21)	–	–	Не обнаружено
18.03.2021, 04–21	Блок № 144, +287, –290	0,600 0,531	104,6 (3,38)	–	–	Не обнаружено
11.06.2021, 14–21	Блок № 80, +90	1,571 2,069	109,5 (5,76) 112,0 (7,94)	5028	351,74	Не обнаружено
10.09.2021, 23–21	Блок № 119, +65	< 0,127	< 100	4910	485,8	Не обнаружено
14.10.2021, 28–21	Блок № 139, +120	10,586	120,3 (20,73)	5931	168,6	150–200
22.10.2021, 29–21	Блок № 144, +190	14,568 6,819	130,1 (64,1) 130,1 (64,1)	–	–	Не обнаружено
29.10.2021, 33–21	Блок № 147, +195	0,968	104,2 (3,23)	–	–	150–200
Краснобродский угольный разрез						
31.03.2021, 10–21	Блок № 144, +287, –290	3,050 3,138	112,1 (8,10) 114,0 (9,98)	–	–	Не обнаружено
31.03.2021, 11–21	Блок № 143, +294, –296	2,254 4,585	139,4 (186,09) 113,2 (9,09)	5078	735,6	Не обнаружено
12.11.2021, 35–21	Блок № 491, +98, –106	1,744	109,7 (6,14)	–	–	Не обнаружено
Бачатский угольный разрез						
06.10.2021, 27–21	Блок № 308, +145, –155	4,060	137,9 (157,85)	–	–	Не обнаружено
Талдинский угольный разрез						
22.10.2021, 30–21	Блок № 431, +254, –257	7,1806	138,4 (166,00)	6208	322,14	Не обнаружено
28.10.2021, 32–21	Блок № 441, +258, –260	0,965	96,0 (1,26)	–	–	Не обнаружено
29.10.2021, 34–21	Блок № 97, +212, –214	1,452	104,0 (3,17)	–	–	Не обнаружено
Моховский угольный разрез						
29.11.2021, 36/21	Блок № 68	1,087	89,2 (0,57)	–	–	–
10.12.2021, 37–21	Блок № 70, +168,0, +150,0	< 0,127	< 100,0 (2,0)	–	–	–

По описанным выше методике и инструментальном обеспечении проведения масштабных опытно-промышленных испытаний произведено 16 массовых взрывов на предприятиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» на разрезах «Кедровский», «Краснобродский», «Бачатский», «Талдинский», «Моховский». Ниже систематизированы результаты этих испытаний (табл. 3).

По результатам опытно-промышленных взрывов и инструментальных измерений сделаны следующие выводы. Максимальное значение скорости смещения грунта зафиксировано 22.10.2021 на филиале «Кедровский угольный разрез» на расстоянии 250 м от взрываемого блока и составило 14,6 мм/с, а на расстоянии 500 м от этого же взрываемого блока – 6,8 мм/сск.

Расстояние от взрываемого блока до ближайшего населенного пункта ж.р. Кедровка составило примерно 3000–4000 м. Замеры сейсмического воздействия непосредственно в населенном пункте при этом не проводились. Однако, согласно проведенному замеру 22.10.2021, можно сделать вывод, что на данном расстоянии происходит значительное затухание сейсмических волн (уменьшение амплитуды, или энергии, волны при прохождении ее в геологической среде вследствие геометрического расхождения, рассеяния на неоднородностях, потерь на тепло и др.) и значительно влияния на сооружения и жилые здания оказываться не будет.

Измеренные инструментально значения скорости смещения грунта по всем произведенным опытно-промышленным взрывам находились в рамках допустимых для условий взрывания значений. Уточненные в результате проведения опытно-промышленных взрывов предельно допустимые параметры, рекомендованные организациям недропользователей, ведущим взрывные работы, составили:

- максимально допустимое значение скорости колебаний земной поверхности в основаниях зданий и сооружений – 5 мм/с;
- максимально допустимое значение магнитуды – до 2,5–3 балла;
- значение давления (интенсивности) ударной воздушной волны – не более 110–120 дБ.

По визуальной оценке, разлет отдельных кусков горной массы зафиксирован при производстве двух опытно-промышленных взрывов из произведенных пятнадцати (14.10.2021 и 29.10.2021 на филиале «Кедровский угольный разрез») и составил не более 200 м, что не превышает расчетных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные инструментальные исследования показали, что разработанная методика позволяет производить качественную оценку влияния промышленных взрывов большой мощности на охраняемые объекты и окружающую среду и своевременно проверять и уточнять предельно допустимые параметры выполнения массовых взрывов на угольных разрезах в зависимости от конкретных условий их проведения.

2. С учетом приобретенного опыта и анализа полученных данных, считаем целесообразным для решения поставленной задачи проведение экспериментов при фиксированных значениях показателей, за исключением не более одного–двух. Накопление статистического материала в этом случае позволит повысить обоснованность и точность полученных результатов исследований и выявить искомые закономерности.

Список литературы

1. Панков Д.А., Афанасьев В.Я. Добыча и потребление угля в мире: перспективы для российских экспортеров // Уголь. 2020. № 11. С. 67–70. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-67-70.
2. Копытов А.И., Масаев Ю.А., Масаев В.Ю. Влияние технологии взрывных работ на состояние окружающей среды в Кузбассе // Уголь. 2020. № 5. С. 57–62. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-57-62.
3. Григорьев Д.В., Гарибин П.А. Определение зоны поражения от разлета осколков при проведении подледных буровзрывных работ в акватории // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2022. Т. 305. С. 43–51.
4. Технология и безопасность взрывных работ / В.А. Белин, Б.Н. Кузнецов, М.И. Ганопольский и др. М.: Изд-во «Горное дело», 2016. 424 с.
5. Persson P.A., Holmberg R., Lee J. Rock blasting and explosives engineering. CRC press, 2018. 560 p.
6. Pile response subjected to rock blasting induced ground vibration near soil-rock interface / L.B. Jayasinghe, H.Y. Zhou, A.T.C. Goh et al. // Computers and Geotechnics. 2017. Vol. 82. P. 1–15.
7. Moomivand H., Vandyousefi H. Development of a new empirical fragmentation model using rock mass properties, blasthole parameters, and powder factor // Arabian Journal of Geosciences. 2020. Vol. 13. No. 22. P. 1–17.
8. Evaluation and optimization of blasting approaches to reducing oversize boulders and toes in open-pit mine / Z. Leng, Y. Fan, Q. Gao et al. // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. Vol. 30. No. 3. P. 373–380.
9. Батраков Д.Н., Басарнов А.И. Комплексные мероприятия по безопасному ведению взрывных работ при разработке полезных ископаемых открытым способом // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 3. С. 73–80.
10. Кушнеров П.И., Батраков Д.Н., Плешаков К.А. Безопасность группового взрыва шпуровых зарядов на шахтах при короткозамедленном способе взрывания // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 2. С. 24–32.
11. Снижение отрицательного воздействия массовых взрывов при открытых горных работах на прилегающие территории / И.В. Машуков, В.В. Чаплыгин, В.П. Доманов и др. // Научное издание технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 434–437.
12. Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (утверждены приказом Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. № 494). [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372449/ (дата обращения: 15.11.2022).

Original Paper

UDC 622.271:622.235 © V.S. Zykov, D.N. Batrakov, A.I. Basarnov, A.I. Nesterenko, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 512, pp. 37-43
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-37-43>

Title

INSTRUMENTAL STUDIES OF RELIABILITY OF HAZARD CRITERIA OF MASS EXPLOSIONS IN KUZBASS OPEN-PIT MINING SITES FOR SURROUNDING OBJECTS AND THE ENVIRONMENT

Authors

Zykov V.S.¹, Batrakov D.N.¹, Basarnov A.I.¹, Nesterenko A.I.¹

¹ JSC «Scientific Center of VostNII for Industrial and Environmental Safety in the Mining Industry», Kemerovo, 650002, Russian Federation

Authors Information

Zykov V.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director General for Scientific Work, e-mail: v.zykov@nc-vostnii.ru

Batrakov D.N., Head of the Explosion Safety Laboratory, e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

Basarnov A.I., Researcher at the Laboratory of Safety of Explosive Works, e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

Nesterenko A.I., Engineer of the Explosion Safety Laboratory, e-mail: vostnii-bvr@yandex.ru

Abstract

Currently, the branches of JSC «Kuzbassrazrezugol» are working to optimize drilling and blasting operations in order to increase the efficiency of mining operations and reduce negative manifestations of industrial mass explosions carried out at open-pit mining sites. In this regard, pilot explosions were carried out in the areas of open mining operations of the organization. This article presents the results of instrumental measurements performed during pilot industrial explosions at open-pit mining sites of branches of JSC «Kuzbassrazrezugol». The purpose of the study was to check the reliability of the criteria for assessing the danger of negative manifestations of mass explosions at the facilities selected for pilot explosions.

Keywords

Open mining operations, Industrial mass explosions, Shock air wave, Seismic impact, Well charge, Soil vibrations, Spreading of rock pieces.

References

1. Pankov D.A. & Afanasiev V.Ya. Global coal production and consumption: prospects for Russian exporters. *Ugol'*, 2020, (11), pp. 67-70. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2020-11-67-70](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-11-67-70).
2. Kopytov A.I., Masaev Yu.A. & Masaev V.Yu. Impact of blasting technology on the environment in Kuzbass. *Ugol'*, 2020, (5), pp. 57-62. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2020-5-57-62](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-5-57-62).
3. Grigoryev D.V. & Garibin P.A. Determination of the impact zone from flying fragments during sub-ice drilling and blasting operations in the water areas. *Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotehniki im. B.E. Vedeneva*, 2022, (305), pp. 43-51. (In Russ.).
4. Belin V.A., Kutuzov B.N., Ganopolsky M.I. & Overchenko M.N. Technology and safety of blasting operations. Moscow, Gornoe Delo Publ., 2016, 424 p. (In Russ.).
5. Persson P.A., Holmberg R. & Lee J. Rock blasting and explosives engineering. CRC press, 2018. 560 p.
6. Jayasinghe L.B., Zhou H.Y., Goh A.T.C., Zhao Z.Y. & Gui Y.L. Pile response subjected to rock blasting induced ground vibration near soil-rock interface. *Computers and Geotechnics*, 2017, (82), pp. 1-15.

7. Moomivand H. & Vandyousefi H. Development of a new empirical fragmentation model using rock mass properties, blasthole parameters, and powder factor. *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, Vol. 13, (22), pp. 1-17.

8. Leng Z., Fan Y., Gao Q. & Hu Y. Evaluation and optimization of blasting approaches to reducing oversize boulders and toes in open-pit mine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, Vol. 30, (3), pp. 373-380.

9. Batrakov D.N. & Basarnov A.I. Complex measures for safe execution of blasting operations in surface mining. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*, 2018, (3), pp. 73-80. (In Russ.).

10. Kushnerov P.I., Batrakov D.N. & Pleshakov K.A. Safety of pattern shooting of borehole charges in mines with short-delayed blasting method. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*, 2019, (2), pp. 24-32. (In Russ.).

11. Mashukov I.V., Chaplygin V.V., Domanov V.P., Semin A.A. & Klimkin M.A. Reducing the negative impact of large-scale blasts in surface mining operations on adjacent territories. *Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov*, 2017, (3), pp. 434-437. (In Russ.).

12. Safety regulations for production, storage and use of explosive industrial materials: Federal Rules and Regulations for Industrial Safety (approved by Rostekhnadzor Order No. 494 of December 3, 2020). [Electronic resource]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372449/ (accessed 15.11.2022).

Acknowledgements

The research was performed as part of Activity No.1 of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022, and Agreement No. 075-15-2022-1185 as of September 28, 2022, on providing grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with Item 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation.

For citation

Zykov V.S., Batrakov D.N., Basarnov A.I. & Nesterenko A.I. Instrumental studies of reliability of hazard criteria of mass explosions in Kuzbass open-pit mining sites for surrounding objects and the environment. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 37-43. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-S12-37-43](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-37-43).

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022