



УДК 622.271.324

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАЗЛЕТА ОТДЕЛЬНЫХ КУСКОВ ПОРОДЫ ПРИ ВЗРЫВАНИИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ РЫХЛЕНИЯ

Самусев П.А.<sup>1,2</sup>, Новиньков А.Г.<sup>1,2</sup>, Протасов С.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

<sup>2</sup> Новационная фирма «Кузбасс-НИИОГР»



### Информация о статье

Поступила:  
29 августа 2023 г.

Рецензирование:  
18 сентября 2023 г.

Принята к печати:  
25 сентября 2023 г.

### Ключевые слова:

массовые взрывы,  
регрессионный анализ  
экспериментальных данных,  
дальность разлета породы при  
массовых взрывах,  
буровзрывные работы,  
забойка, скважинные заряды

### Аннотация.

Дальность разлета кусков породы при массовых взрывах зависит от условий ведения БВР, которые, в свою очередь, определяются весьма многочисленными природными и технологическими факторами. Количественная оценка влияния каждого из таких факторов представляет собой достаточно трудную задачу. Неопределенность вносит и то обстоятельство, что большинство факторов взаимосвязаны, это дополнительно осложняет оценку их влияния на величину разлета.

Многообразие известных и неизученных факторов, влияющих на разлет породы при взрыве, говорит о необходимости рассмотрения дальности разлета как величины, имеющей в своей основе вероятностную природу.

---

**Для цитирования:** Самусев П.А., Новиньков А.Г., Протасов С.И. Определение дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 4(23). – С. 4-25. – DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-4-25, EDN: EMPGJG

---

### Введение

Параметры, по которым рассчитывается дальность разлета породы при взрывании скважинных зарядов рыхления в ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1], всем известны. Это длина неактивной части скважины (забойки), диаметр взрывааемых скважин, расстояние между соседними скважинами (сетка скважин) и до обнаженной поверхности, масса ВВ в скважине, а также крепость пород.

Максимальная дальность разлета кусков породы зависит также от удельной энергии взрывчатого вещества, а также определяется соотношением потенциальной энергии заряда и энергии, расходуемой на дробление массива породы [8]. Причем ВВ одного и того же типа, изготовленные на разных предприятиях, могут отличаться по характеристикам.

Разумеется, ни одна методика расчета дальности разлета породы при взрыве не предусматривает учета требований к квалификации персонала, который ведет проектирование взрывных работ и работы непосредственно на взрываемом блоке.



Значительное влияние на дальность разлета породы при взрыве играет и материал забойки скважинных зарядов, а также применяемые средства инициирования (неэлектрические СИ (НСИ), электронные СИ (ЭСИ) или детонирующий шнур (ДШ)).

Правила [1] не детализируют методические подходы к определению целого ряда параметров взрыва. При этом они своими требованиями пп. 795, 808 предполагают, что конкретные рекомендации для тех или иных условий разрабатываются специализированными организациями и оформляются заключениями или научными рекомендациями.

### **Анализ предыдущих исследований по обоснованию безопасных расстояний по разлету отдельных кусков**

Вопросу разлета породы при взрывании скважинных зарядов посвящено крайне малое количество исследований. Возможно, это связано с трудностями достоверного определения дальности разлета кусков породы и отсутствием надежных методических подходов к этому процессу. Большинство этих исследований посвящено параметрам и качеству забойки с точки зрения улучшения дробления горных пород. Часть исследований посвящена снижению дальности разлета кусков взрываемого материала при укрытии разрушаемой поверхности в стесненных условиях населенных пунктов и строительных площадок, но при таких технологиях на взрывах применяется небольшой объем взрывчатых материалов (ВМ), диаметры и глубина скважин (шпуров) имеют меньший размер (диаметр), чем при промышленных массовых взрывах на горных предприятиях. Ни в одном из проанализированных исследований нет конкретных рекомендаций по расчету дальности разлета при взрывании скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными или инертными промежутками.

В горнотехнической литературе отсутствуют достоверные экспериментальные материалы, без которых попытки решить проблему разлета осколков теоретически оказались безуспешными [2].

Ниже приведен анализ ранее опубликованных результатов исследований по факторам, влияющим на дальность разлета породы при взрыве, и суждения по данному вопросу из нашего опыта работы.

Пучков Я.М. в своей работе [2] отмечает, что из всех фиксируемых и расчетных параметров и показателей массового взрыва существенное влияние на величину радиуса максимального разлета осколков оказывают:

- масса заряда в скважине;
- сетка расположения скважин;
- длина неактивной части скважины (длина забойки).

В работе [3] отмечается, что высота поднятия кусков породы, а следовательно, и начальная скорость их полета, предопределяющая дальность разлета при взрывании пород одинаковой крепости, зависят от расстояния заряда до устья скважины, а также от схемы взрывания.

В этой же работе говорится, что при удалении верхней части заряда от устья скважины на расстояние 2-3 м взрывной процесс развивается в 2 стадии: вначале в верхней части скважины происходит взрыв на выброс, а затем на рыхление остальной части массива. Взрыв на выброс в верхней части скважины помимо снижения эффективности взрыва сопровождается большим разлетом кусков породы. При этом рациональная глубина заложения зарядов, при которой достигается минимальное действие зарядов на выброс, составляет не менее 6 м от устья скважины.

Ефремов Э.И. в работе [4] отмечает, что непостоянство ЛНС по высоте уступа влечет к неравномерному распределению энергии взрыва на единицу отбиваемой породы. Кроме того, породы верхней части уступа при взрыве работают на растяжение, в то время как в нижней части уступа породы сопротивляются сдвигу и трению, во много раз превышая сопротивления растяжению.

Авторы в работе [5] говорят о том, что дальность разлета кусков раздробленного материала при взрыве определяется многими факторами. К наиболее важным из них относятся: параметры



расположения зарядов во взрываемом массиве (ЛНС, длина забойки, диаметр скважины или шпура и др.) и их масса, физико-механические свойства взрываемого материала (крепость, трещиноватость и др.), рельеф местности и ряд других факторов.

В работе [6] также отмечается, что дальность разлета взорванной массы определяется многими факторами. К их числу относятся:

- степень заглубленности заряда;
- параметры взрывных работ (величина ЛНС, масса заряда, длина, материал и качество забойки, расстояние между одновременно взрывающимися зарядами);
- тщательность соблюдения проектных параметров, крупность и состав разбрасываемого взрывом материала, рельеф местности, скорость ветра и др.

По результатам исследований в работе [7] сделан вывод, что качество и безопасность взрывной отбойки в решающей степени зависят от условий ведения БВР, которые, в свою очередь, определяются весьма многочисленными природными и техногенными факторами. Количественная оценка влияния каждого из таких факторов представляет достаточно трудную задачу и для большинства карьеров фактически не проводилась. Длина забойки должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы исключался ее преждевременный прорыв газами взрыва, совершающими при этом уменьшенный объем работ по полезному дроблению пород и при котором возрастает интенсивность ударных воздушных волн и дальность разлета кусков породы.

В этой же работе отмечено, что минимальная длина забойки в устье скважин должна составлять не менее 20 диаметров заряда.

В работе [8] отмечается, что максимальная дальность разлета кусков породы зависит также от удельной энергии взрывчатого вещества. Дальность разлета кусков породы определяется соотношением потенциальной энергии заряда и энергии, расходуемой на дробление массива породы.

В соответствии с положениями [9] факторами, управляющими максимальным диапазоном разлета породы, являются следующие четыре фактора:

- размер частицы породы;
- форма частицы породы;
- угол от горизонта, с которым запущена частица породы;
- начальная скорость запуска частицы породы.

Параметры, по которым рассчитывается дальность разлета породы при взрывании скважинных зарядов рыхления в ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1] всем известны. Это:

- длина неактивной части скважины (длина забойки);
- диаметр взрываемых скважин;
- расстояние между соседними скважинами (сетка скважин);
- количество ВВ в скважине;
- крепость пород.

Следует отметить, что ни одна методика расчета дальности разлета породы при взрыве не предусматривает требований к квалификации персонала, который ведет проектирование взрывных работ и работы непосредственно на взрываемом блоке. В практике работы авторов настоящей статьи имеются примеры, когда не соблюдались рекомендации по применению рассредоточенных скважинных зарядов [10, 27], на основе которых разработаны все современные рекомендации по рассредоточению заряда ВВ в скважине, и в верхнюю часть скважины помещалась наибольшая часть рассредоточенного скважинного заряда. Это не запрещено требованиями ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1], но надо иметь в виду, что ФНП не детализируют методические подходы к определению целого ряда параметров.

Значительное влияние на дальность разлета породы при взрыве играет и материал забойки скважинных зарядов. Общеизвестно, что материал забойки скважин должен обладать большим коэффициентом трения, увеличенной плотностью и прочностью, т.е. достаточной сопротивляемостью сдвигу.



Распространенный на открытых горных работах забоечный материал из буровой мелочи или отсева обогащательных фабрик в большинстве случаев не удовлетворяет этим требованиям [3, 11]. Подобное мнение отражено и в работе [12].

Согласно данным [2], наибольшую дальность полета имеют осколки с характерным размером 2-5 см.

Авторы в работе [3] отмечают, что наибольшей запирающей способностью обладает крупнозернистая забойка из смеси 60% щебня фракции 20-25 мм с песком.

При рассредоточении скважинного заряда воздушными или инертными промежутками в специализированной литературе нет конкретных рекомендаций по расчету дальности разлета, однако следует отметить следующее.

Ефремов Э.И. в работе [4], ссылаясь на результаты других авторов, подчеркивает, что работу заряда, рассредоточенного инертной забойкой, следует рассматривать как работу двух самостоятельных зарядов (при рассредоточении на две части). При этом отмечается (при взрывании с внутрискважинными замедлениями), что при схеме замедления «сверху» (взрывание первым верхнего заряда) фактор возникновения новой свободной поверхности при взрыве верхнего заряда в скважине может оказать отрицательное влияние. При наличии небольшого (1,5-2,5 м) разделительного промежутка из инертного материала, который является для нижнего заряда своего рода небольшой забойкой, последнему легче сработать в сторону вновь образованной поверхности, а не по линии сопротивления по подошве уступа. В результате заряд «простреливает», оставляя пороги из неразрушенной горной породы. Избежать этого можно, либо точно рассчитав время замедления между взрывами частей скважинного заряда, либо увеличив величину промежутка из инертного материала (его размер должен быть не менее длины забойки).

При рассмотрении вопроса расчета безопасных расстояний по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления, рассредоточенных инертным материалом, значение имеют применяемые средства инициирования (неэлектрические средства инициирования (НСИ) или электронные средства инициирования (ЭСИ)).

Согласно ТУ и инструкциям по применению [14, 15] НСИ имеют разброс времени срабатывания (среднеквадратическое отклонение времени замедления для ИСКРА-С-25 ÷ ИСКРА-С-2000 – 2,0-50 мс), а согласно исследованиям [16] оно может быть в 2-3 раза больше. Поэтому при одновременном инициировании верхнего и нижнего зарядов ВВ в скважине, а тем более при применении внутрискважинных замедлений, и при использовании НСИ есть большая вероятность, что верхний заряд инициируется первым и нижний заряд может «прострелить» (как отмечено в [4]), что может привести к увеличению дальности разлета осколков породы.

Особо следует рассмотреть расчет безопасных расстояний по разлету отдельных кусков породы (грунта) при взрывании скважинных зарядов рыхления, рассредоточенных воздушным промежутком.

В работе [4] отмечается, что глубокий теоретический анализ (выполненный Ф.А. Баумом) физической сущности зарядов с воздушными промежутками показывает, что рассредоточенный воздушными промежутками заряд можно с известным приближением рассматривать как сплошной заряд с соответственно большей длиной и меньшей плотностью.

В работе [16] также отмечено, что заряды с воздушными прослойками рассчитываются как сплошные.

Рассредоточение скважинного заряда – это фактически уменьшение плотности заряда во взрывной полости, т.к. воздух имеет свойство сжиматься. При наличии известных решений по созданию воздушных промежутков в заряде, таких как «осевые полости» и воздушные полости вокруг заряда (кольцевые полости), вопросов по определению длины заряда в скважине не возникает, но эффект от их применения примерно тот же.

При использовании в конструкции скважинного заряда УЗУ (универсальных запирающих устройств) [17] величина коэффициента заполнения скважины забойкой, по нашему мнению, должна рассчитываться с учетом конкретной длины забойки, а не приниматься равной единице. Применение УЗУ на горных предприятиях позволило повысить запирающий эффект и в ряде случаев даже сократить затраты времени на забойку скважин, однако УЗУ в большинстве



случаев ставятся с нарушением регламента их установки. В частности, УЗУ зачастую устанавливаются в верхней части скважины, нарушенной действием взрывов при подготовке вышерасположенного уступа, или УЗУ ставится на воду и в этом случае нет возможности опустить устройство на нужную глубину. Наши наблюдения показывают, что при таких нарушениях технологии установки УЗУ дальность разлета породы не только не уменьшается, но скорее увеличивается.

Следует отметить наличие диаметрально противоположных рекомендаций разных авторов по дальности разлета при использовании воздушных и инертных промежутков в заряде.

В работе [2] по результатам исследований в производственных условиях отмечено, что применение воздушных и инертных промежутков в конструкции скважинных зарядов увеличивает разлет осколков в 1,3-2,9 раза.

Автор в работе [18], описывая конструкцию заряда с воздушными прослойками, отмечает, что при рассредоточении заряда воздушными прослойками длина забойки принимается на 20-30% меньше, чем при сплошной конструкции заряда, т.к. такое сокращение длины забойки не опасно (в смысле разброса породы) ввиду небольшой величины верхней части заряда.

В правилах [19] также отмечается, что снижение дальности разлета кусков взрываемого материала и интенсивности ударной воздушной волны достигается в том числе максимально возможным рассредоточением зарядов во взрываемом массиве.

Согласно исследованиям [6] с уменьшением плотности пород и размера кусков коэффициент их сноса ветром увеличивается. Например, для куска размером 0,1 м и плотностью 2300 кг/м<sup>3</sup> коэффициент сноса кусков ветром при скорости ветра 10 м/с равен 1,3, а при скорости ветра 20 м/с – уже 2,1, т.е. дальность разлета таких кусков может увеличиться более чем в 2 раза при скорости ветра 20 м/с.

В п. 785 ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1] отмечено также, что необходимо учитывать влияние силы ветра на возможное увеличение дальности разлета кусков породы.

Интересны результаты работы [20] в которой проанализированы различные исследования, выполненные после 2010 г., связанные с прогнозом дальности разлета обломков породы. В работе отмечается, что прогнозы по предложенным в различных публикациях моделям оценивались в сравнении с наблюдаемым разлетом. Авторы проводили визуальное наблюдение взрывов и замер точек падения фрагментов породы с помощью ручного GPS-позиционирования.

В качестве ключевых параметров для различных моделей прогноза дальности разлета породы использовались [20]:

- расстояние от скважины до откоса;
- размер ячейки в сетке скважин;
- скорость продольных волн;
- плотность породы;
- эффективная плотность ВВ в скважине;
- отношение длины заряда к глубине скважины;
- расстояние между рядами;
- максимальный вес заряда, взрываемого одновременно;
- относительный расход ВВ;
- отношение расстояния между скважинами в ряду к расстоянию между рядами;
- отношение длины забойки к расстоянию между рядами;
- интервал замедления;
- диаметр скважины;
- скорость детонации;
- значение по рейтингу массива горных пород (RMR);
- длина забойки.

В работе [20] отмечается, что в каждой из проанализированных публикаций подчеркивается, что предлагаемые модели являются зависящими от конкретной площадки и не могут быть использованы в качестве универсальных моделей. Важно отметить, что представленные эмпирические уравнения разных авторов значительно различаются. Это может быть связано с



конкретными входными параметрами площадки, используемыми в каждой модели. При этом методологии, направленные на измерение действительного разлета кусков, не разработаны ни в одной из публикаций. Было рекомендовано продолжить исследования по оценке влияния этих причинных факторов на диапазон разлета породы с целью наработки понимания, как эти параметры могут влиять на риски, вызванные разлетом.

Авторы в работе [21], изданной еще в 1980 г., отмечают, что попытки ряда авторов дать на основании обработки опытных данных для конкретных горнотехнических условий эмпирические формулы для расчета максимального разлета кусков породы пока нельзя считать удачными, так как существенный разброс вычисленных по различным формулам значений радиуса опасной зоны свидетельствует о наличии ряда факторов, не учитываемых этими формулами.

Поэтому, на наш взгляд, применение тех или иных технологических способов снижения разлета не дает оснований для уменьшения минимальных радиусов опасных зон по разлету кусков породы для людей и сооружений, предусмотренных ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1].

Таким образом, приведенный выше анализ показывает, что при использовании современных взрывчатых материалов и средств инициирования требуется проводить исследования по замерам дальности разлета осколков породы от взрыва при различных конструкциях скважинного заряда, разной длине забойки, разных схемах инициирования. При этом такие исследования должны проводиться с учетом индивидуальных особенностей геологического строения месторождений, технологии ведения буровзрывных работ на конкретном предприятии и квалификации персонала, ведущего взрывные работы.

### **Анализ формулы [1] по расчету расстояния, безопасного для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее (дробящее) действие**

В соответствии с ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1, п. 784] расстояние  $r_{\text{разл}}$  (м), опасное для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее (дробящее) действие, определяется по формуле:

$$r_{\text{разл}} = 1250\eta_3 \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}},$$

где  $\eta_3$  – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом;  $\eta_{\text{заб}}$  – коэффициент заполнения скважины забойкой;  $f$  – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова;  $d$  – диаметр взрываемой скважины, м;  $a$  – расстояние между скважинами в ряду или между рядами, м.

Анализ этой формулы показывает, что из всех параметров, входящих в нее, наибольший вклад в дальность разлета вносит параметр  $\eta_3$  – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом, т.к. все остальные параметры находятся под корнем.

Коэффициент заполнения скважин взрывчатым веществом  $\eta_3$  равен отношению длины заряда в скважине  $l_3$  (м) к глубине пробуренной скважины  $L$  (м):

$$\eta_3 = \frac{l_3}{L}.$$

Т.к. длина заряда и длина забойки ( $l_{\text{заб}}$ ) взаимосвязаны:  $L = l_3 + l_{\text{заб}}$  (при условии полного заполнения свободного, надзарядного пространства забойкой), то преобразуем формулу и получаем

$$\eta_3 = \frac{l_3}{L} = \frac{L - l_{\text{заб}}}{L} = 1 - \frac{l_{\text{заб}}}{L}.$$



Таким образом, наибольший вклад в дальность разлета породы вносит длина забойки  $l_{\text{заб}}$  (чем больше длина забойки, тем меньше дальность разлета породы), т.к. остальные параметры практически не изменяются на одном месторождении. Например, для Красногорского разреза:  $f$  – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова – изменяется незначительно: от 8 до 10;  $\eta_{\text{заб}}$  – коэффициент заполнения скважины забойкой всегда равен 1 (полная забойка);  $d$  – диаметр взрывающейся скважины часто на конкретном предприятии изменяется незначительно или предприятие всегда работает с одним и тем же диаметром скважин, на Красногорском разрезе на экспериментах зачастую применялись диаметры 0,216 м и 0,2 м;  $a$  – расстояние между скважинами в ряду или между рядами также практически не изменяется, например, на Красногорском разрезе в основном применялась сетка скважин  $5 \times 5$  м. На Моховском разрезе исследования проводились при неизменных параметрах по крепости пород, диаметрам скважин, а также сетки скважин.

Для дополнительной оценки влияния изменения каждого фактора в изменение дальности разлета кусков породы по ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1] использован факторный эксперимент [22]. В факторном эксперименте каждый фактор варьировался на пяти уровнях. Результаты расчетов также показывают, что при увеличении коэффициента заполнения скважины ВВ (или соответствующего уменьшения длины забойки) в два раза дальность разлета пород увеличивается в два раза, а при изменении расстояния между скважинами в два раза или крепости пород в два раза дальность разлета пород изменяется в 1,41 раза.

### **Применение защитных укрытий при производстве взрывных работ**

Методика расчета безопасных расстояний от места взрыва до механизмов, зданий, сооружений, которую часто используют предприятия, ведущие взрывные работы, приведена в [5], первоначально она изложена в [24]. В соответствии с методикой, изложенной в [5], регулирование принимаемого в проектной документации радиуса опасной зоны по разлету для механизмов и сооружений может быть обеспечено благодаря изменению длины забойки, при этом предполагается, что для сохранения постоянного удельного расхода ВВ сетка расположения зарядов должна быть сужена.

В методике [5] отмечается, что если дальность разлета (после корректировки) не обеспечивает исключения повреждений охраняемых объектов, то должно быть предусмотрено использование защитных укрытий, гарантирующих уменьшение размеров радиуса опасной зоны или полное исключение разлета кусков породы (фрагментов объектов) в результате взрывов.

Защитные укрытия различных конструкций применяют при производстве взрывных работ в стесненных условиях в случае нахождения в пределах опасной зоны по разлету кусков и действию ударных воздушных волн различных зданий и сооружений, линий электропередач и связи, инженерных коммуникаций, магистралей и других охраняемых объектов.

Конструктивно укрытия могут выполняться в виде различных щитов, сеток, локализаторов, домиков, арок, матов и др. Изготавливаются укрытия из различных металлических и железобетонных конструкций, досок, бревен, реде из мешков с песком, капроновых сетей, якорных цепей, шин автосамосвалов и др. Тип применяемых укрытий при производстве взрывных работ в стесненных условиях определяется содержанием этих работ и условиями их осуществления и обосновывается в проекте производства взрывных работ. Защитные укрытия подразделяют на сплошные и газопроницаемые.

Классификации укрытий и область их применения при взрывных работах приведены в Таблице 1 [5].



Таблица 1. Классификация и область применения укрытий мест взрыва  
Table 1. Classification and application of blast site coverings

Тип укрытия	Область применения
<b>Укрытия сплошные газонепроницаемые</b>	
Металлические листы, щиты	Для укрытия горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей при большом объеме работ
Щиты из бревен и досок	То же при небольшом объеме работ
Укрытия коробчатого типа («колпаки», арки, «домики»)	При разовом взрывании небольших объемов и выполнении большого объема работ
Укрытия из нетканого материала	При взрывании шпуровых зарядов в труднодоступных местах
Мешки с песком	При малых объемах работ в труднодоступных местах
Насыпной грунт	При малых объемах работ в труднодоступных местах
<b>Укрытия газопроницаемые</b>	
Металлические (панцирные) сетки, сетки «Рабица», различные решетки	При малой мощности взрываемого слоя, при нелимитировании по действию УВВ
Сетки из синтетических материалов	При малой мощности взрываемого слоя большой площади
Коробчатые сетчатые укрытия	При разовом взрывании небольших объемов
Арочные (перфорированные) укрытия	При большом объеме работ

Следует отметить, что использование укрытий из нетканого материала согласно [5] рекомендуется только при взрывании шпуровых зарядов в труднодоступных местах.

На разрезах Кузбасса есть опыт применения укрытий блока из нетканого материала, но, по нашему мнению, если величина забойки недостаточна, то такое укрытие не снижает вероятность разлета осколков породы, а при нормальной забойке разлет и так небольшой. Например, на Рис. 1 показан взрыв блока, где видно, что при малой величине забойки нетканый укрывной материал сбрасывается с поверхности блока и свою функцию по задержке разлетающейся породы не выполняет.



Рис. 1. Применение нетканого укрывного материала  
Fig. 1. Application of non-woven covering material



ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1] не регламентируют (не рассматривают) применение различных укрытий для снижения дальности разлета породы. Применение различных укрытий взрываемых блоков для снижения дальности разлета породы должно быть предусмотрено в проектной документации на отработку месторождения, а также в Типовом проекте БВР.

Следует отметить также, что в соответствии с п. 180 Правил [1] при необходимости взрывания группы зарядов, прикрытых защитными приспособлениями, заряды должны взрываться одновременно или с суммарным замедлением не более 200 мс. Указанное ограничение значительно сокращает область применения защитных укрытий, т.к. в таком случае невозможно проводить взрыв блоков стандартных размеров на большинстве карьеров.

### Постановка задач и целей исследования

На начальном этапе проведения работ по исследованию дальности разлета породы на участках открытых горных работ при использовании неэлектрических систем инициирования (НСИ) исполнителями настоящей работы и специалистами разрезов было отмечено, что на их предприятиях нет возможности проведения следующих экспериментов:

- По укрытию блоков сеткой рабица и/или слоем грунта различной толщины из-за усложнения и значительного удорожания подготовки таких блоков и отсутствия в проектной документации такой технологии ведения взрывных работ.

Кроме того, согласно Классификации и области применения укрытий мест взрыва (Таблица 1) такие укрытия применяются при малых объемах работ в труднодоступных местах и при малой мощности взрываемого слоя, что не подходит для ведения взрывных работ в производственных условиях большинства разрезов.

В соответствии с рекомендациями [25] в качестве грунта может использоваться песчаный или глинистый грунт с размерами частиц не более 20 мм, укладка насыпных материалов пригрузки производится после заряжания и забойки скважин и монтажа взрывной сети. Доставку материала пригрузки производят автосамосвалами с разгрузкой непосредственно на участке взрыва или по его периметру. Затем пригрузку надвигают колесным бульдозером таким образом, чтобы слой насыпи над зарядами был не менее 0,8 м. Учитывая, что минимальный насыпной слой грунта должен быть 0,8 м, потребуются значительные финансовые и трудовые затраты на выполнение таких работ. Время подготовки блока к взрыванию также значительно увеличится.

- Использование других предохранительных укрытий различных конструкций (щиты, маты, локализаторы) на блоке – из-за усложнения и удорожания подготовки таких блоков и отсутствия в проектной документации такой технологии ведения взрывных работ.

При этом следует отметить, что, например, на разрезе «Красногорский» проводились эксперименты по укрытию блоков нетканым материалом. Согласно «Классификации...» (Таблица 1) область применения укрытий из нетканого материала – взрывание шпуровых зарядов в труднодоступных местах. Кроме того, следует учитывать требования п. 180 Правил [1] – при необходимости взрывания группы зарядов, прикрытых защитными приспособлениями, заряды должны взрываться одновременно или с суммарным замедлением не более 200 мс. Учитывая, что исследования дальности разлета породы ведутся зачастую тогда, когда рядом находятся охраняемые объекты другого предприятия, одновременное взрывание всех зарядов на блоке с суммарным замедлением не более 200 мс невозможно, т.к. это будет уже не короткозамедленное взрывание, а практически мгновенное. При применении же короткозамедленного взрывания на блоках в интервале 200 мс возможно взрывание всего нескольких скважин.

- При использовании в качестве забоечного материала щебня, а не буровой мелочи – из-за удорожания взрывных работ и невозможности обеспечить наличие такой забойки на каждом блоке. Впоследствии на разрезе Красногорский появилась возможность применения забойки из



отсева обогащательной фабрики, на разрезе Моховский и в качестве забойки стал применяться базальт, на АО «Салек» – щебень.

- Изменение диаметров скважин на меньшие размеры из-за необходимости дорогостоящего переоборудования бурстанков или невозможности такого их переоборудования, предприятия зачастую отказываются уменьшать диаметр скважин.

- Ведение взрывных работ при применении электронных средств инициирования из-за кратного увеличения затрат на детонаторы.

В результате было решено при экспериментальных взрывах снижать дальность разлета породы за счет технологического регулирования.

На первоначальном этапе предполагалось проводить исследования по дальности разлета породы за счет увеличения забойки (увеличенная длина забойки при уменьшенной высоте заряда (уменьшение удельного расхода ВВ до минимального значения, обеспечивающего удовлетворительное дробление породы и проработку подошвы уступа)), схем монтажа взрывной сети и, может быть, за счет изменения сетки скважин.

### **Исходные данные для исследования дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления**

Для исследования дальности разлета породы на участке «Сорокинский» разреза «Красногорский» было подготовлено 12 экспериментальных блоков, на Дунаевском участке филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез» – 15 экспериментальных блоков, на АО «Салек» – 14 экспериментальных блоков.

На экспериментальных взрывах дальность разлета кусков породы оценивалась по видеосъемке, выполненной с 1-2 квадрокоптеров со скоростью записи 30 (60) кадров в секунду при максимальном разрешении 4К (5,3К). После каждого взрыва проводился осмотр местности между блоком и охраняемыми объектами и замер точек падения фрагментов породы с помощью ручного GPS-позиционирования.

С помощью видеосъемки с квадрокоптеров проводилась также оценка высоты пылегазовых выбросов и оценка запирающей способности забойки. По видеозаписям также проводился анализ массового взрыва – оценка необходимости увеличения длины забойки скважин, оценка процедур контроля качества во время заряжания скважин и формирования забойки скважинного заряда.

Пример расстановки оборудования для замеров дальности разлета породы показан на Рис. 2.

### **Программа экспериментов**

Согласно [21] дальность разлета кусков взорванной породы при взрывах можно снижать двумя способами: технологически, т.е. за счет изменения параметров буровзрывных работ, и укрытием разрушаемой взрывом поверхности.

Основными принципами технологического регулирования являются:

- уменьшение удельного расхода ВВ до близкого к камуфлетному;
- увеличение длины забойки при уменьшенной высоте заряда (уменьшение удельного расхода ВВ до минимального значения, обеспечивающего удовлетворительное дробление породы и проработку подошвы уступа);
- сближение скважин для уменьшения высоты заряда и увеличения длины забойки при неизменном расходе ВВ на единицу объема и др.

Более радикального снижения дальности разлета кусков породы при взрывах позволяет достичь укрытие разрушаемой поверхности [21]. Однако, как было отмечено выше в настоящей работе, от таких экспериментов предприятия отказались из-за усложнения и удорожания подготовки таких буровзрывных блоков и отсутствия в проектной документации такой технологии ведения взрывных работ, а также невозможности выполнения требований п. 180



ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» – при необходимости взрывания группы зарядов, прикрытых защитными приспособлениями, заряды должны взрываться одновременно или с суммарным замедлением не более 200 мс.



Рис. 2. Пример расстановки оборудования для фиксации дальности разлета породы  
Fig. 2. Example of equipment arrangement for fixing the flyrock distance

Дальнейшие эксперименты решено было провести так, чтобы обеспечить безопасность охраняемых объектов, т.е. невозможность разлета породы в их сторону, при этом задача снижения разлета породы в сторону выработанного пространства разреза не ставилась. Например, при взрыве 30.05.2023 г. на разрезе «Красногорский» дальность разлета породы в сторону охраняемых объектов составила менее 10 м, а в сторону выработанного пространства дальность разлета породы составила 212 м. Задача в таких условиях «облегчалась» тем, что охраняемые объекты были расположены в стороне, противоположной откосу уступа.

При взрывной подготовке пород с применением скважинных зарядов с перебором верхний слой пород уступа обуривается и взрывается дважды [27]: сначала – при ведении взрывных работ по вышележащему, затем – по нижележащему уступам. Размещение ВВ в верхнем разрушенном слое пород уступа приводит к усилению метательного эффекта взрыва и к нежелательным для технологии разработки последствиям – нарушению компактности развала.

Поэтому необходимо исключить разлет породы из устьев взрываемых скважин и с поверхности блока (зона «1», Рис. 3) путем увеличения длины забойки, что снижает поршневое действие продуктов детонации скважинных зарядов на забойку. При этом за счет максимально возможного уменьшения линии сопротивления по откосу уступа (отсутствие навала породы создающего подпорную стенку, применение наклонных скважин на блоке) обеспечивается выброс породы с обнаженного откоса уступа (зона «2», Рис. 3), и по возможности (за счет просадки взрываемого блока вниз, что отлично заметно при взрывании высоких уступов) приводит к большему дроблению породы в нерегулируемой зоне дробления.

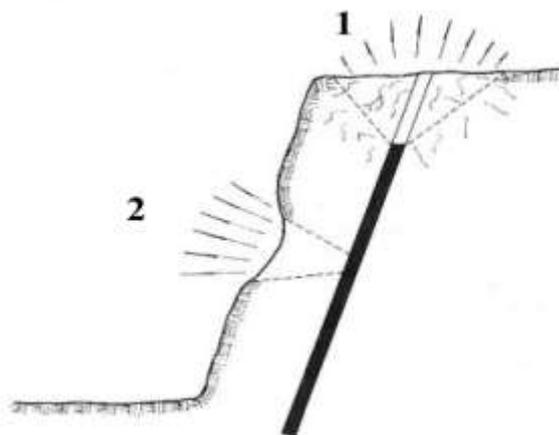


Рис. 3. Схема к обоснованию снижения дальности разлета породы  
Fig. 3. Flowchart for justification of reduction of flyrock distance

Согласно [23], отсутствие забойки или малая ее длина приводит к значительной потере энергии взрыва за счет непроизводительного истечения газов через устье скважины и соответственно к большему разлету кусков породы.

При этом следует учитывать, что согласно данным [23] максимальную дальность разлета имеют куски породы, летящие по отношению к горизонту под углом 43-45°. Учитывая, что угол наклона борта на разрезах всегда меньше 43°, борт не будет служить преградой для разлета породы в сторону охраняемых объектов ни на верхних горизонтах карьера, ни на нижних.

Увеличение части энергии взрыва, затрачиваемой на дробление, вызывает соответствующее уменьшение крупности кусков, а следовательно, снижение кинетической энергии движения кусков породы.

С учетом рекомендаций [5, 21 и др.] специалистами Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР» была разработана Программа экспериментов, приведенная в упрощенном и обобщенном для нескольких разрезов виде в Таблице 2.

Таблица 2. Программа проведения экспериментов  
Table 2. Program of experiments

1	Запланированные эксперименты
2	Взрыв блока с проектными параметрами БВР без забойки
3	Взрыв блока с проектными параметрами БВР с разной глубиной скважин и разной длиной забойки
4	Взрыв блока с проектными параметрами БВР с наклонными и вертикальными скважинами
5	Использование увеличенной длины забойки при уменьшенной высоте заряда (уменьшение удельного расхода ВВ до минимального значения, обеспечивающего удовлетворительное дробление породы и проработку подошвы уступа)
6	Уменьшение диаметра взрывааемых скважин
7	Использование комплекса др. технических решений по снижению дальности разлета кусков породы

### Обоснование длины забойки по методике расчета масштабной глубины залегания [9]

В соответствии с положениями [9] факторами, управляющими максимальным диапазоном разлета породы, являются следующие четыре фактора:

- размер частицы фрагмента;
- форма частицы фрагмента;



- угол от горизонта, с которым запущена частица фрагмента;
- начальная скорость запуска частицы.

Первые три фактора невозможно контролировать (размер, форму фрагментов или угол выброса), это все случайные факторы, но можно управлять скоростью запуска, управляя глубиной залегания или степенью ограничения заряда, т.е. величиной забойки скважин.

Факторы, имеющие сильное влияние на скорость выброса фрагментов породы, включают размеры и вес заряда взрывчатого вещества и глубину, на которой он залегает или ограничен горной породой. Известным термином, который включает все эти факторы, является «приведенная глубина залегания» ( $SDOBm$ ).

$$SDOBm = \frac{L_s + 0,0005 \times m \times d}{0,00923 \times (m \times d^3 \times p_e)^{0,333}}$$

где  $SDOBm$  – приведенная глубина залегания, м/кг<sup>1/3</sup>;  $L_s$  – длина забойки, м;  $d$  – диаметр скважины, м;  $m$  – коэффициент длины заряда;  $p_e$  – плотность ВВ, гр/см<sup>3</sup>.

Понятие приведенной глубины залегания заряда описано в работе [9] из которой следует, что, когда глубина залегания заряда уменьшается (справа налево, Рис. 4), увеличиваются скорость, диапазон и вероятность разлета фрагментов породы.

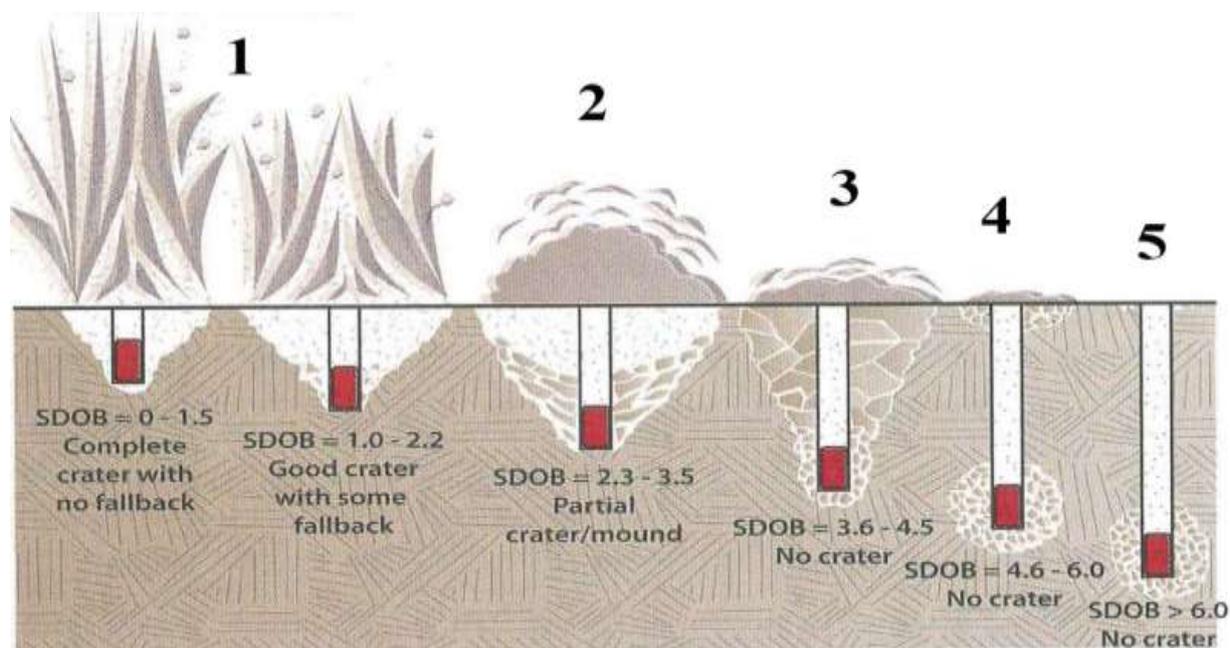


Рис. 4. Приведенная глубина залегания ( $SDOB$ ) по [9]: 1 – Неконтролируемая энергия, чрезмерный разлет породы и пыли. Максимальная УВВ и шум. Отличная фрагментация. Хорошая воронка выброса.  $SDOB$  0-1,5.  $SDOB$  1,0-2,2; 2 – Незначительные разлет породы и шум. Приемлемая фрагментация. Умеренная вибрация и УВВ. Поднятие грунта на поверхности.  $SDOB$  2,3-3,5; 3 – Уменьшенное поднятие грунта на поверхности, разлет породы и дробление.  $SDOB$  3,6-4,5; 4 – Малые возмущения поверхности.  $SDOB$  4,6-6,0; 5 – Не оказывает существенного влияния на поверхность.  $SDOB$  >6,0.

Fig. 4. Scaled depth of burial ( $SDOB$ ) according to [9]: 1 – Uncontrolled energy. Excessive flyrock & dust. Maximum airblast & noise. Excellent fragmentation. Good crater – no fallback.  $SDOB$  0-1.5.  $SDOB$  1.0-2.2; 2 – Insignificant flyrock & noise. Acceptable fragmentation. Moderate vibration / airblast. Heaving of material. Maximum mound.  $SDOB$  2.3-3.5; 3 – Reduced mound, flyrock & fragmentation/  $SDOB$  3.6-4.5; 4 – Small surface disturbances.  $SDOB$  4.6-6.0; 5 – No significant surface effect.  $SDOB$  >6.0.

В качестве примера приведем результаты расчета масштабной глубины залегания для проведенных экспериментальных взрывов на одном из разрезов (Таблица 3).



Таблица 3. Результаты расчета масштабной глубины залегания для экспериментальных взрывов  
Table 3. Results of calculating the scaled depth of bedding for experimental explosions

№ эксперимента	Дата взрыва	Фактическая дальность разлета породы, м	Длина забойки, м	Отношение длины забойки к диаметру скважины	Приведенная глубина залегания ( $SDOBm$ ) (рис. 4)
1	21.10.2021	261	1	5	0,5
2	26.05.2022	не фиксировалась	6	24	1,5
3	26.05.2022	340	2	9,3	0,8
4	07.06.2022	120	6	24	1,5
5	30.08.2022	30	6	27,8	1,5
6	17.05.2023	353	5,4	27	1,4
7	30.05.2023	10	7	35	2,0
8	04.07.2023	260	6	30	1,5
9	18.07.2023	75	6	30	1,5

### Сопоставление длины забойки и дальности разлета породы по фактическим замерам на разрезе «Красногорский»

Ниже на Рис. 5 приведен график зависимости между длиной забойки и дальностью разлета породы по экспериментальным данным, приведенным в Таблице 3 (в построении зависимости брались не все экспериментальные данные из-за сомнений в длине забойки на некоторых экспериментах).

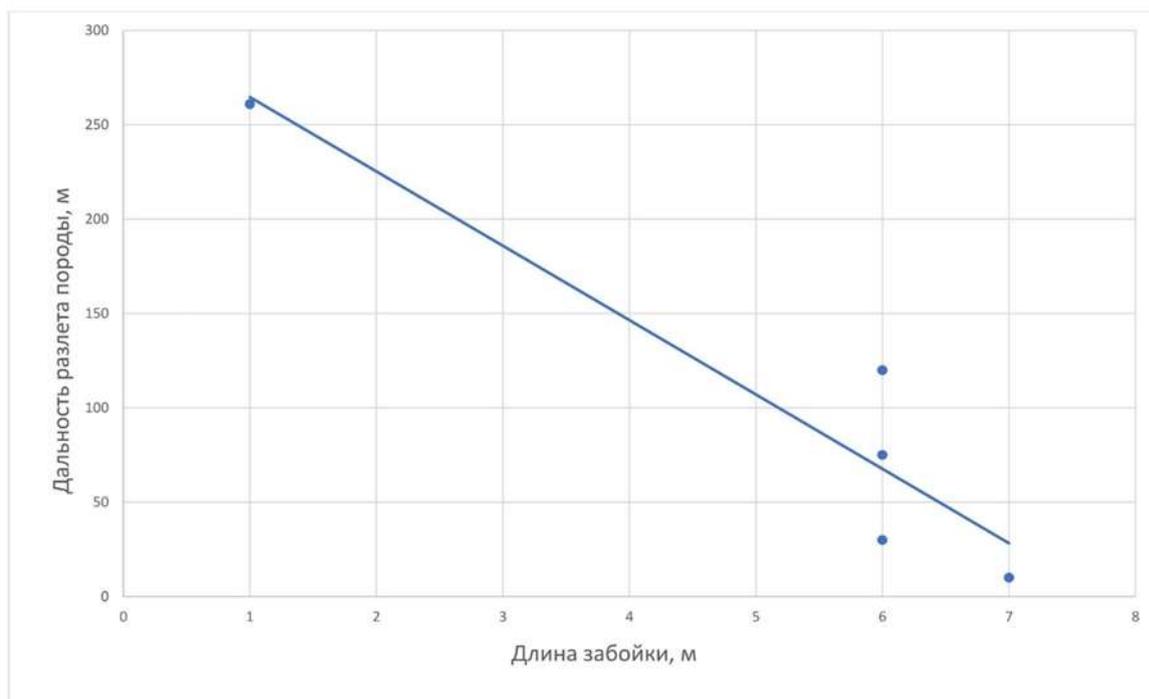


Рис. 5. Зависимость между длиной забойки и дальностью разлета породы по экспериментальным данным.

Fig. 5. Dependence between stemming length and flyrock distance according to experimental data.

При этом за дальность разлета породы принята возможная дальность разлета породы при условии нахождения взрываемого блока на уровне земной поверхности. При экспериментальных взрывах часть блоков находилась внизу выработанного пространства разреза, а фактическая максимальная дальность разлета породы замерялась на уровне земной поверхности. Поэтому при



предположении, что блок находился бы на уровне земной поверхности, считается (по формуле п. 785 ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1]) дальность разлета породы, если бы блок был на уровне земной поверхности, т.е. траектория движения кусков породы не ограничивалась бы местом падения (уровнем земли). Делается это для того, чтобы оценить максимально возможную дальность разлета породы и сравнить ее для экспериментальных блоков, которые располагались на разных горизонтах.

Для оценки общего качества предлагаемой регрессии использовался традиционный подход регрессионного анализа, в частности, определялось значение индекса детерминации  $R^2$ , которое для экспериментальных данных, приведенных на Рис. 5, равно 0,89.

В соответствии со смыслом индекса детерминации считается, что максимальная дальность разлета кусков породы на 89% определяется величиной длины забойки и только на 11% зависит от других факторов. При этом следует помнить, что относительно малое количество экспериментальных точек ведет к повышенной изменчивости этой зависимости. Также в связи с малым числом экспериментальных точек данная оценка позволяет оценить только основную тенденцию регрессии, но не позволяет выполнить гарантированную вероятность неперевышения разлета. Кроме того, относительно малое влияние прочих факторов может говорить о том, что эти факторы слабо изменялись в ходе экспериментальных исследований. При других условиях эксперимента (при значительных изменениях как самих «прочих» факторов, так и их комбинаций) влияние этих факторов может также измениться на значительную величину.

При экспериментальных массовых взрывах на разрезе «Красногорский» дальность разлета породы оценивалась при разных диаметрах скважин вначале 0,25 м и 0,216 м, затем 0,2 м. Поэтому было проведено сопоставление относительной длины забойки, выраженной в диаметрах скважин ( $L_{заб} / d_{скв}$ ) и дальностью разлета породы по экспериментальным данным.

На Рис. 6 приведен график зависимости между длиной забойки, выраженной в диаметрах скважин и дальностью разлета породы по экспериментальным данным. Индекс детерминации  $R^2$  для зависимости между относительной длиной забойки, выраженной в диаметрах скважин и дальностью разлета породы по экспериментальным данным равен 0,94, что говорит о том, что длину забойки для разных диаметров скважин лучше оценивать в диаметрах скважин при оценке дальности разлета породы.

### **Анализ результатов измерения длины забойки на взрываемых блоках и применяемых коэффициентах безопасности**

Относительно измерения длины забойки авторы [9] предполагают, что грунт или раздробленная порода в области устья скважины, не должны включаться в измерение длины забойки. Нужная величина забойки должна быть в породе достаточной крепости. Следовательно, если, например, верхние 0,9 метра скважины находятся в «мягкой» покрывающей породе (грунте), и проект взрывных работ определяет длину забойки в 2,4 м, то глубина, измеренная от устья скважины до верха заряда ВВ, должна составлять 3,3 м.

В большинстве процессов человеческий фактор может влиять на процесс управления разлетом породы. Главная ошибка человека, которая может помешать хорошему результату взрыва, находится в контроле качества зарядки, то есть в соблюдении проектных параметров колонки заряда ВВ и забойки. Контроль качества во время зарядки становится все более важным, по мере приближения взрыва к ответственным охраняемым объектам. При таких обстоятельствах недостаточно просто ориентировать взрыв так, чтобы охраняемые объекты были расположены в стороне противоположной откосу уступа. Длина забойки (исключая любую зону неуплотненной почвы или сильно разрыхленной породы от предыдущих взрывов) играет важную роль в контроле разлета породы. Длина колонки ВВ никогда не должна быть больше запроектированной, т.к. предполагаемый максимум разлета породы может превысить  $1/2 - 2/3$  расстояния до охраняемых объектов [9].

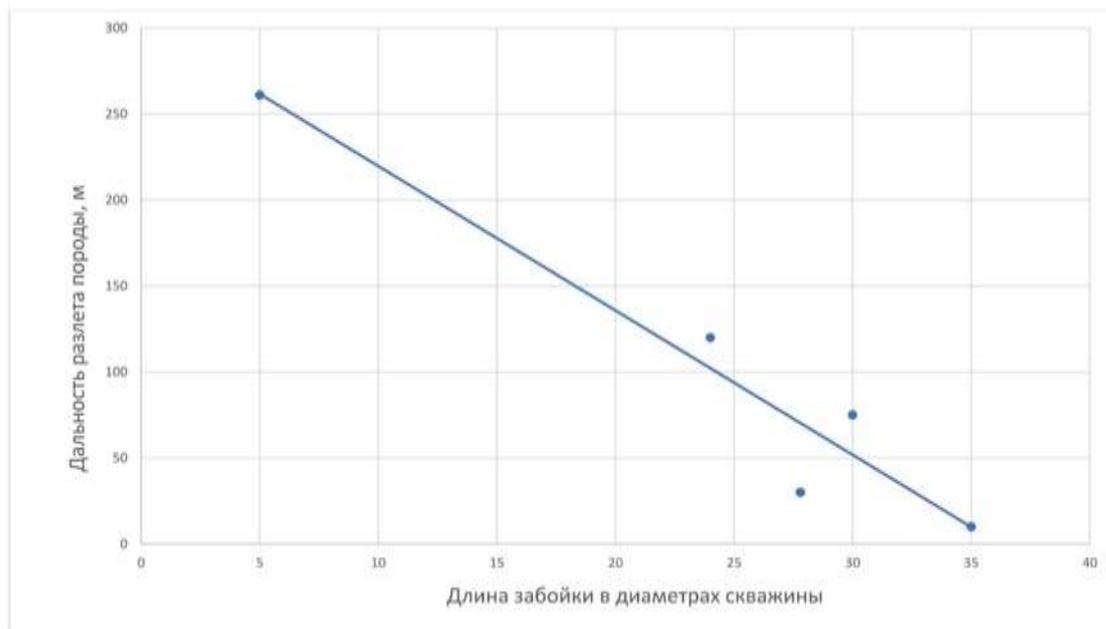


Рис. 6. Зависимость между относительной длиной забойки, выраженной в диаметрах скважин, и дальностью разлета породы по экспериментальным данным.

Fig.6. Relationship between relative stemming length, expressed in borehole diameters, and flyrock distance according to experimental data.

Простой статистический анализ нормальных зарядных операций (например, измерение длины колонки забойки для ста или более скважин) будет всегда показывать ошибку и изменчивость в длине колонок забойки [9]. Принимая нормальное распределение таких ошибок, длины забоек должны иметь среднее значение, близкое к проектному значению, так же, как стандартное отклонение  $\sigma_{st}$ . Оценивая номинальное безопасное расстояние, необходимо учесть нормальные уровни ошибки в длине забойки.

Нормальная степень изменчивости в длине забойки составляет около 10% [9], то есть если проектная длина забойки составляет 5 метров, то стандартное отклонение длины забойки будет приблизительно равно 0,5 м, и поэтому значение длины забойки, используемой в вычислениях, должно быть равным  $(5 - \sigma_{st} \times 0,5) = (5 - 1,64 \times 0,5) = 4,2$  м, или 84% проектной длины забойки. Статистический смысл этой формулы состоит в том, что при использовании данной формулы в среднем 5% всех скважин будут иметь фактическую длину забойки менее 4,2 м при проектной длине забойки 5,0 м. Значит, закладывая в проект расчетную длину забойки 5 м, расчет разлета следует производить по длине забойки 4,2 м. В этом случае 95% скважин будут иметь фактическую длину забойки не менее 4,2 м. Этот подход, объединенный с минимальным коэффициентом безопасности 1,5 [9], относящийся к расчетному максимальному расстоянию разлета, должен позволить вычисление соответствующего безопасного расстояния, которое повышает безопасность всех людей около взрыва до уровня, близкого к 100%.

В последние годы для многих организаций, ведущих взрывные работы, нормальной практикой является введение в каждодневные видеозаписи каждого взрыва и тщательное рассмотрение каждого взрыва на наличие задержки газов высокого давления. Идеальный взрыв — это тот взрыв, где фрагменты породы не разлетаются от массы перемещаемого и разломанного материала, или из областей устьев скважин, или от свободной поверхности. Признаки увеличения дальности разлета породы нужно рассматривать, как сигналы пересмотреть процедуры контроля качества во время зарядки скважины, и увеличить длину забойки.

Следует помнить, что если одна скважина в сетке заряжена некачественно (перезаряд, отсутствие забойки или неполная забойка), безопасность всех соседних скважин ставится под угрозу. Неудачный взрыв, от которого идет непрогнозируемый разлет породы, происходит не из-



за ошибки в зарядке, из-за которой произошел разлет породы, а из-за нехватки понимания и несоответствующей реакции на ошибку тех, кто отвечает за зарядку и забойку скважин.

В [9] отмечается, что как только максимальное расстояние разлета вычислено, необходимо применить соответствующий коэффициент безопасности. Потребность в коэффициенте безопасности была выдвинута на первый план Черниговским (1985) [9] в его заявлении: «Расчеты указывают, что траектория фрагмента не может быть вычислена с точностью выше 20%, потому что ни вектор начальной скорости разлета, ни коэффициент торможения точно не известны». Минимальное значение для коэффициента безопасности составляет 150%, то есть безопасное расстояние должно быть, по крайней мере, в 1,5 раза больше расчетного максимального расстояния разлета фрагмента породы. Комитет по открытой добыче полезных ископаемых США (Дик и др. [9], 1989) запрещает разлет породы больше, чем половина расстояния до ближайшего жилого здания, требуя, чтобы в Соединенных Штатах использовался минимальный коэффициент безопасности 2.

При расчетах безопасного расстояния по источнику [13] также необходимо применять соответствующие коэффициенты безопасности:

-  $2 \times L_{\text{макс}}$  для оборудования;

-  $4 \times L_{\text{макс}}$  для людей.

Согласно п. 786 ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [1] предусматривается, что расчетное значение опасного расстояния округляется в большую сторону до значения, кратного 50 м.

Опасное для людей по разлету отдельных кусков породы расстояние, определяемое в соответствии с ФНП [1] также имеет запас 25%, так, например, в справочнике [26] формула для расчета безопасного расстояния после преобразований имеет вид:

$$r_{\text{разл}} = 1000 \eta_z \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}}.$$

Коэффициенты безопасности предусмотрены также в методике [5] при расчете безопасных расстояний по разлету кусков породы для механизмов, зданий и сооружений. В методике [5] отмечается, что средние относительные отклонения расчетных и фактических значений дальности разлета породы  $R_p$  составляют не менее  $\pm 10\%$ , что связано как с исходной точностью формул, так и с методикой определения фактической дальности разлета. По указанной причине с целью гарантированного прогнозирования размеров опасных зон по разлету для зданий и сооружений, а также механического оборудования расчетную величину  $R_p$  следует дополнительно увеличивать еще на 10%.

### **Анализ результатов исследования дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления на разрезе «Красногорский»**

Для исследования дальности разлета породы на разрезе «Красногорский» было подготовлено 12 экспериментальных блоков. Оценка дальности разлета породы проводилась не по всем экспериментальным взрывам т. к. на некоторых взрывах применялся детонирующий шнур и по другим причинам.

По результатам обработки замеров дальности разлета породы по экспериментальным взрывам составлена линия регрессии, позволяющая связать длину забойки и дальность разлета породы. Проведена оценка качества предлагаемой регрессии, индекс детерминации  $R^2$  составил 0,89.

Т.к. при экспериментах оценивалась дальность разлета породы для разных диаметров скважин (0,2-0,25 м), поэтому проведена также оценка влияния длины относительной длины забойки, выраженной в диаметрах скважин, на дальность разлета породы. Оценка качества такой регрессии показала индекс детерминации  $R^2$ , равный 0,94. Поэтому дальнейшие оценки и разработка рекомендаций делались на основе уточненной регрессии.

Часть точек лежит выше линии регрессии (Рис. 6), что, возможно, связано с наличием неучтенных факторов и естественной изменчивостью учтенных факторов, например, разницей в длине забойки (перезаряде скважин) на блоке и проекте на массовый взрыв, наличии



раздробленной породы на поверхности блока от предыдущих взрывов и т.п. Поэтому линия регрессии скорректирована по точкам с максимальным разбросом значений от линии регрессии. Скорректированная линия регрессии приведена на Рис. 7. На рисунке нанесены линия регрессии, построенная по экспериментальным данным (синяя линия) и скорректированная линия регрессии (красная линия). Также нанесены данные наблюдений по дальности разлета породы.

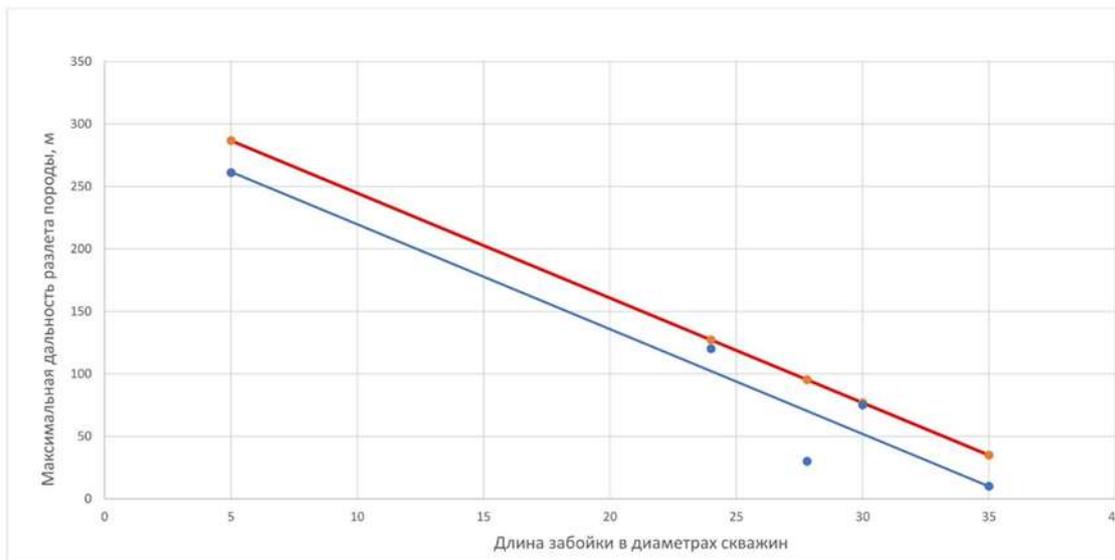


Рис. 7. Скорректированный график зависимости дальности разлета породы от относительной длины забойки

Fig. 7. Corrected diagram of the dependence of the flyrock distance on the relative length of the stemming

На основе проведенных экспериментальных массовых взрывов по исследованию дальности разлета породы при ведении взрывных работ на участках открытых горных работ предприятиям выданы рекомендуемые параметры БВР для снижения дальности разлета породы в сторону охраняемых объектов.

## Выводы

Применение эмпирических формул для расчета максимальной дальности разлета кусков породы, разработанных рядом авторов [2, 8, 9, 13], дает существенный разброс вычисленных значений радиуса опасной зоны, что говорит о наличии неучтенных или недооцененных факторов, действующих на конкретном предприятии. Возможно, при их доработке или корректировке эмпирических констант индивидуально для каждого предприятия, эти формулы будут давать реальные значения размеров опасных зон.

Применение тех или иных технологических способов снижения дальности разлета породы не дает оснований для уменьшения минимальных радиусов опасных зон по разлету кусков для людей и сооружений, предусмотренных Правилами безопасности [1].

При использовании современных взрывчатых материалов и средств инициирования требуется проводить исследования по замерам дальности разлета осколков взрыва при различных конструкциях скважинного заряда, различных интервалах замедлений. При этом такие исследования должны проводиться с учетом индивидуальных особенностей геологического строения месторождений и технологии ведения буровзрывных работ на конкретном предприятии.

При ведении взрывных работ вблизи охраняемых объектов, необходимо обеспечить на взрываемых блоках контроль процесса заряжания скважин, соблюдение проектной конструкции скважинного заряда и схем монтажа взрывной сети, в том числе желательно с использованием



видеосъемки (как уже делается в ряде организаций, ведущих ВР, при установке видеоаппаратуры на зарядные машины, а также на опоры для общего контроля за горными работами).

При ведении взрывных работ, особенно вблизи охраняемых объектов, необходимо выполнять видеосъемку массовых взрывов. Видеозаписи каждого взрыва должны анализироваться с точки зрения дальности разлета породы, а также времени задержки газов взрыва забойкой и др. При наличии разлетающихся отдельных кусков породы необходимо уменьшить длину заряда и увеличить длину забойки, а также пересмотреть процедуры контроля качества во время заряжения скважин и формирования забойки скважинного заряда.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

### **Информация об авторах**

**Самусев Павел Александрович**, к.т.н., технический эксперт Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР», доцент кафедры открытых горных работ ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»  
e-mail: sam@kuzbass-niiogr.ru

**Новиньков Алексей Геннадьевич**, к.т.н., зав. сектором экспертизы зданий и сооружений Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР», доцент кафедры строительных конструкций, водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»  
e-mail: novinkova@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР»  
650054, Российская Федерация, г. Кемерово, Пионерский бульвар, стр. 3, оф. 205

**Протасов Сергей Иванович**, к.т.н., доцент, директор Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР»  
Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР»  
650054, Российская Федерация, г. Кемерово, Пионерский бульвар, стр. 3, оф. 205  
e-mail: protasov@kuzbass-niiogr.ru

### **Список литературы**

1. ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» (утверждены приказом Ростехнадзора от 03.12.2020 г. № 494, зарегистрированы в Минюсте России 25.12.2020 г. № 61824).
2. Пучков Я.М. Управление разлетом осколков при массовых взрывах скважинных зарядов на карьерах : Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Ленинград, 1991. – 49 с.
3. Друкованый М. Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / М. Ф. Друкованый, В. С. Куц, В. И. Ильин // М.: Недра, 1980. – 223 с.
4. Ефремов Э.И. Взрывание с внутрискважинными замедлениями // Киев: Наукова Думка, 1971. – 171 с
5. Ганопольский М.И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие / М.И. Ганопольский, В.Л. Барон, В.А. Белин [и др.]. // М.: изд-во МГГУ, 2007. – 563 с.
6. Азаркович А.Е. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов / А.Е. Азаркович, М.И. Шуйфер, А.П. Тихомиров // М.: Недра, 1984. – 213 с.



7. Абдулкасимов А.М. Совершенствование качества взрывной подготовки горной массы на карьерах стройматериалов на основе оптимизации основных параметров БВР : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 21 с.
8. Отчет о НИР. Исследование и разработка мер по уменьшению вредного влияния взрывных работ на окружающую среду с использованием их в АСУ буровзрывными работами в карьерах / В.Ф. Губайдулин, С.М. Ильенко, Е.В. Стародубцев // Донецкий политехн. ин-т. – Донецк, 1985. – 83 с.
9. ISEE Blasters Handbook. 18TH edition / International Society of Explosives Engineers, 2011.
10. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко // М.: Недра, 1964. – 138 с.
11. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах // М.: Недра, 1973. – 416 с.
12. Лещинский А.В. Забойка взрывных скважин на карьерах / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун // Хабаровск: изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2008. – 230 с.
13. The red pocketbook o-pitblast. – 18 p.
14. Инструкция по применению неэлектрической системы инициирования «Коршун-М». – 41 с.
15. Устройства инициирующие с замедлением скважинные ИСКРА-С. ТУ 7275-031-07513903-2008. Технические условия.
16. Белин В.А. Новые технологии ведения взрывных работ / В.А. Белин, М.Г. Горбонос, С.К. Мангуш [и др.] // Труды международного научного симпозиума «Неделя Горняка-2015»: Сборник статей. – М.: изд-во «Горная книга», 2015. – С. 87-101.
17. Универсальные запирающие устройства. Инструкция по применению / ООО «КузбассПромРесурс», Кемерово, 2010.
18. Таранов П.Я. Буровзрывные работы // М.: Недра, 1964. – 255 с.
19. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности (Утверждены Министерством монтажных и специальных строительных работ СССР 16.11.1971). – М.: Недра, 1972. – 240 с.
20. J. van der Walt, W. Spiteri. A critical analysis of recent research into the prediction of flyrock and related issues resulting from surface blasting activities / Department of Mining Engineering, University of Pretoria. – South Africa. – 2020.
21. Коренистов А.В. Техника безопасности при взрывных работах в энергетическом строительстве / А.В. Коренистов, С.А. Давыдов, Б.И. Каменка [и др.] // М.: Недра, 1980. – 87 с.
22. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента // М.: МИР, 1972. – 384 с.
23. Черниговский А.А. Применение направленного взрыва в горном деле и строительстве // М.: Недра, 1976. – 319 с.
24. Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве / АО «Институт Гидропроект». – М., 1997. – 232 с.
25. Эткин М.Б. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве / М.Б. Эткин, А.Е. Азаркович // М.: МГТУ, 2004. – 315 с.
26. Авдеев В. Л. Нормативный справочник по буровзрывным работам / В.А. Авдеев, В.Л. Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор // М.: Недра, 1986. – 511 с.
27. Бирюков А.В. Статистические модели в процессах горного производства / А.В. Бирюков, В.И. Кузнецов, А.С. Ташкинов // Кемерово: Кузбассвуиздат, 1996. – 228 с.



## DETERMINATION OF THE RANGE OF SEPARATE ROCK PIECES MOVEMENT WHEN EXPLODING BOREHOLE RIPPING CHARGES

Pavel A. Samusev<sup>1,2</sup>, Andrey V. Novinkov<sup>1,2</sup>, Sergey I. Protasov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup> KUZBASS NIOGR Innovation Company



### Article info

Received:  
25 May 2023

Revised:  
16 June 2023

Accepted:  
25 June 2023

**Keywords:** mass explosions,  
regression analysis of  
experimental data, range of rock  
dispersion in mass explosions,  
drilling and blasting operations,  
backfill, borehole charges

### Abstract.

The range of rock pieces movement at mass blasts depends on the conditions of drilling and blasting operations, which, in turn, are determined by quite a few natural and technological factors. Quantitative assessment of the influence of each of these factors is a rather difficult task. Uncertainty is also introduced by the fact that most of the factors are interrelated, which additionally complicates the assessment of their influence on the size of the scattering.

The variety of known and unexplored factors affecting the rock movement during the blast suggests the need to consider the range of movement as a value that has a probabilistic nature in its basis.

---

**For citation** Samusev P.A., Novinkov A.V., Protasov S.I. (2023) Determination of the range of separate rock pieces movement when exploding borehole ripping charges, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 4(23):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-4-25, EDN: EMPGJG

---

### References

1. FNP «Pravila bezopasnosti pri proizvodstve, khraneni i primeneni vzryvchatykh materialov promyshlennogo naznacheniya» (utverzheny prikazom Rostekhnadzora ot 03.12.2020 g. № 494, zaregistrirrovany v Minyuste Rossii 25.12.2020 g. № 61824).
2. Puchkov Ya.M. Upravlenie razletom oskolokov pri massovykh vzryvakh skvazhinnykh zaryadov na kar'erakh : Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Leningrad, 1991. – 49 s.
3. Drukovanny M. F. Upravlenie deystviem vzryva skvazhinnykh zaryadov na kar'erakh / M. F. Drukovanny, V. S. Kuts, V. I. Il'in // M.: Nedra, 1980. – 223 s.
4. Efremov E.I. Vzryvanie s vnutrискvazhinnyimi zamedleniyami // Kiev: Naukova Dumka, 1971. – 171 s
5. Ganopol'skiy M.I. Metody vedeniya vzryvnykh rabot. Spetsial'nye vzryvnye raboty: Uchebnoe posobie / M.I. Ganopol'skiy, V.L. Baron, V.A. Belin [i dr.]. // M.: izd-vo MGGU, 2007. – 563 s.
6. Azarkovich A.E. Vzryvnye raboty vblizi okhranyaemykh ob"ektov / A.E. Azarkovich, M.I. Shuyfer, A.P. Tikhomirov // M.: Nedra, 1984. – 213 s.
7. Abdulkasimov A.M. Sovershenstvovanie kachestva vzryvnoy podgotovki gornoy massy na kar'erakh stroyaterialov na osnove optimizatsii osnovnykh parametrov BVR : Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Moskva, 2006. – 21 s.
8. Otchet o NIR. Issledovanie i razrabotka mer po umen'sheniyu vrednogo vliyaniya vzryvnykh rabot na okruzhayushchuyu sredu s ispol'zovaniem ikh v ASU burovzryvnymi rabotami v kar'erakh / V.F. Gubaydulin, S.M. Il'enko, E.V. Starodubtsev // Donetskii politekhn. in-t. – Donetsk, 1985. – 83 s.
9. ISEE Blasters Handbook. 18TH edition / International Society of Explosives Engineers, 2011.
10. Mel'nikov N.V. Energiya vzryva i konstruktsiya zaryada / N.V. Mel'nikov, L.N. Marchenko // M.: Nedra, 1964. – 138 s.
11. Drukovanny M.F. Metody upravleniya vzryvom na kar'erakh // M.: Nedra, 1973. – 416 s.



12. Leshchinskiy A.V. Zaboyka vzryvnykh skvazhin na kar'erakh / A. V. Leshchinskiy, E. B. Shevkun // Khabarovsk: izd-vo Tikhookeanskogo gos. un-ta, 2008. – 230 s.
13. The red pocketbook o-pitblast. – 18 p.
14. Instruktsiya po primeneniyu neelektricheskoy sistemy initsirovaniya «Korshun-M». – 41 s.
15. Ustroystva initsiiruyushchie s zamedleniem skvazhinnye ISKRA-S. TU 7275-031-07513903-2008. Tekhnicheskie usloviya.
16. Belin V.A. Novye tekhnologii vedeniya vzryvnykh rabot / V.A. Belin, M.G. Gorbonos, S.K. Mangush [i dr.] // Trudy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Nedelya Gornyaka-2015»: Sbornik statey. – M.: izd-vo «Gornaya kniga», 2015. – S. 87-101.
17. Universal'nye zapirayushchie ustroystva. Instruktsiya po primeneniyu / OOO «KuzbassPromResurs», Kemerovo, 2010.
18. Taranov P.Ya. Burovzryvnye raboty // M.: Nedra, 1964. – 255 s.
19. Tekhnicheskie pravila vedeniya vzryvnykh rabot na dnevnoy poverkhnosti (Utvverzheny Ministerstvom montazhnykh i spetsial'nykh stroitel'nykh rabot SSSR 16.11.1971). – M.: Nedra, 1972. – 240 s.
20. J. van der Walt, W. Spiteri. A critical analysis of recent research into the prediction of flyrock and related issues resulting from surface blasting activities / Department of Mining Engineering, University of Pretoria. – South Africa. – 2020.
21. Korenistov A.V. Tekhnika bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh v energeticheskom stroitel'stve / A.V. Korenistov, S.A. Davydov, B.I. Kamenka [i dr.] // M.: Nedra, 1980. – 87 s.
22. Shenk Kh. Teoriya inzhenernogo eksperimenta // M.: MIR, 1972. – 384 s.
23. Chernigovskiy A.A. Primenenie napravlennogo vzryva v gornom dele i stroitel'stve // M.: Nedra, 1976. – 319 s.
24. Tekhnicheskie pravila vedeniya vzryvnykh rabot v energeticheskom stroitel'stve / AO «Institut Hidroproekt». – M., 1997. – 232 s.
25. Etkin M.B. Vzryvnye raboty v energeticheskom i promyshlennom stroitel'stve / M.B. Etkin, A.E. Azarkovich // M.: MGGU, 2004. – 315 s.
26. Avdeev V. L. Normativnyy spravochnik po burovzryvnym rabotam / V.A. Avdeev, V.L. Baron, N.V. Gurov, V.Kh. Kantor // M.: Nedra, 1986. – 511 s.
27. Biryukov A.V. Statisticheskie modeli v protsessakh gornogo proizvodstva / A.V. Biryukov, V.I. Kuznetsov, A.S. Tashkinov // Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1996. – 228 s.

#### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### Information about the authors

**Pavel A. Samusev**, C. Sc. in Engineering, Technical expert of «KUZBASS-NIIOGR» Innovation Company, Associate Professor of the Department of Open Pit Mining of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University e-mail: sam@kuzbass-niiogr.ru

**Alexey G. Novinkov**, C. Sc. in Engineering, Head of the sector of expertise of buildings and structures of the Innovation Company "KUZBASS-NIIOGR", Associate Professor of the Department of Building Structures, Water Supply and Drainage of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University e-mail: novinkova@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
28, Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation.  
KUZBASS-NIIOGR Innovation Company  
650054, Russian Federation, Kemerovo, 3 Pionersky Blvd., 205 office

**Sergey I. Protasov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of "KUZBASS-NIIOGR" Innovation Company KUZBASS-NIIOGR Innovation Company  
650054, Russian Federation, Kemerovo, 3 Pionersky Blvd., 205 office  
e-mail: protasov@kuzbass-niiogr.ru

