

Код МРНТИ 52.13.21

*С.А. Сагидуллаев

*Главный эксперт управления горно-металлургической промышленности
Комитета промышленной безопасности МЧС РК (г. Астана, Казахстан)*

УПРАВЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ПРИ ВЗРЫВАНИИ ПОРОД РАЗЛИЧНОЙ КРЕПОСТИ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы выбора наиболее эффективного способа управления взрывом для качественного дробления пород различной крепости и трещиноватости. Установлено, что потенциальная энергия зарядов ВВ при взрыве может расходоваться на бесполезное переизмельчение пород в ближайшей к заряду зоне. Поэтому основным условием качественного дробления пород становится выбор такого способа взрывания, который позволяет управлять физико-механическими воздействиями взрыва. Необходимо перераспределить основную часть энергии взрыва на дробление пород, находящихся за зоной, окружающих заряд. Разработан и испытан способ качественного дробления пород путем управления физико-механическими воздействиями взрыва. Взрывом управляют с помощью очередности инициирования зарядов и временных промежутков между взрывами, которые устанавливают с помощью замедлений в системе коммутации взрывной сети.

Ключевые слова: управление взрывом, физико-механические воздействия, качественное дробление, направление энергии взрыва, очередность инициирования, временные промежутки, соударение, волны напряжений, соседние заряды.

Әртүрлі күштер мен жарықтар жыныстарының жарылуы кезіндегі физикалық-механикалық әсерлерді басқару

Аннотация. Мақалада әртүрлі беріктік пен жарықшақты жыныстарды сапалы ұсақтау үшін жарылысты басқарудың ең тиімді әдісін таңдау мәселелері қарастырылады. Жарылыстағы ЖЗ зарядтарының потенциалдық энергиясы зарядқа жақын аймақта тау жыныстарын пайдасыз қайта ұнтақтауға жұмсалуды мүмкін екендігі анықталды. Сондықтан тау жыныстарын сапалы ұсақтаудың негізгі шарты жарылыстың физикалық-механикалық әсерін басқаруға мүмкіндік беретін жарылыс әдісін таңдау болып табылады. Жарылыс энергиясының негізгі бөлігін зарядты қоршап тұрған аймақтан тыс жыныстарды бөлшектеуге қайта бөлу қажет. Жарылыс зарядтардың басталу кезектілігі және жарылыстар арасындағы уақыт аралықтары арқылы басқарылады, олар жарылыс желісінің коммутация жүйесінде баяулау арқылы орнатылады. Жарылыстың физикалық-механикалық әсерін басқару арқылы тау жыныстарын сапалы ұсақтау әдісі жасалды және сыналды.

Түйінді сөздер: жарылысты басқару, физика-механикалық әсерлер, сапалы ұсақтау, жарылыс энергиясының бағыттау, инициация кезегі, уақыт аралықтары, соқтығысу, кернеу толқындары, көрші зарядтар.

Control of the physical and mechanical influences in blasting operations of the rocks with various strength and fracturing

Abstract. The article considers the issues of the most effective method to control the blast with purpose of the high-quality crushing the rocks of various strength and fracturing. The potential energy may be uselessly expended for the excessively crushing of the rocks near charge zone is established. So the choice of the effective method to control the physical and mechanical influences for high-quality crushing of the rocks is required. It is necessary to direct the most part of energy to crush the rocks founded out of the charge zone. The control of the blast is realized with the help of sequence of the initiation of charges and time intervals between blasts. A method of high-quality crushing of rocks by controlling the physical and mechanical effects of an explosion has been developed and tested.

Key words: control of the blast, physical and mechanical influences, high-quality crushing, direction of the blast energy, arrangement of the initiation, the time intervals, co-strike, strain waves, neighboring charges.

Введение

Известно, что потенциальная энергия заряда ВВ при взрыве в горных породах делится на две основные части – на энергию, перешедшую в ударные волны, и энергию, оставшуюся в продуктах детонации [1, 2]. Разрушение горных пород есть следствие совместного воздействия обеих частей энергии заряда.

В энергию ударных волн при взрыве в скальных породах переходят от 40 до 60% потенциальной энергии ВВ [3, 4]. При неправильно выбранном способе взрывания, не позволяющем управлять процессами распределения этой энергии, значительная ее часть тратится на неблагоприятные виды физико-механических воздействий. Она может расходоваться на необратимые потери в ближайшей к заряду зоне. Результатом этого обычно становится бесполезное переизмельчение твердой среды вокруг зарядов. При этом гораздо меньшая часть энергии, перешедшей в ударные волны, может пойти на дробление горных пород, находящихся на некотором удалении от зарядов, т.е. на работу, которая при взрыве является полезной. Поэтому основным условием, способствующим качественному дроблению массива, становится выбор такого способа взрывания, который бы позволял управлять энергией, перераспределяя основную ее часть на выполнение полез-

ной работы, т.е. на дробление горной породы, находящейся за зоной, окружающей заряд [5, 6].

Методы управления взрывом

Для управления взрывами на горных предприятиях широко применяют способы взрывания, в которых очередность инициирования зарядов и временные промежутки между взрывами устанавливают с помощью замедлений из капсулей-детонаторов неэлектрической системы инициирования или из пиротехнических реле в сочетании с детонирующими шнурами [7].

При короткозамедленном взрывании происходит взаимодействие взрывов зарядов со смежными сериями замедлений. Эффективность разрушения массива при этом определяется следующими факторами: взаимодействием волн напряжений от соседних зарядов; развитием плоскостей обнажения в процессе взрывания; направлением и скоростью разлета и соударения кусков породы от взрыва соседних зарядов. Все факторы являются зависимыми и в совокупности определяют качество дробления породы при взрывном разрушении массива.

При управлении взрывами в крепких породах применяют малые интервалы замедлений, способствующие наложению и усилению волн напряжений в упругой среде.

В породах средней крепости используют средние интервалы замедлений, позволяющие развить поверхности обнажения в процессе взрывания. В слабых породах предпочтение отдается большим интервалам замедлений, способствующим разлету и соударению кусков породы [8, 9].

В одном из способов многорядного короткозамедленного взрывания, включающем взрывание скважинных зарядов внутри блока, одну часть зарядов внутри блока взрывают до закрытия макротрещин, образуемых взрывами оконтуривающих зарядов, а другую часть зарядов внутри блока взрывают за время существования макротрещин в закрытом состоянии. Способ применяется для взрывания трещиноватых пород и заключается в опережающем взрывании контурных скважин, при котором происходит смыкание (схлопывание) трещин оконтуренного массива с последующим взрыванием скважин внутри блока. Схлопывание трещин превращает блок в монолит, что благоприятствует интенсивному прохождению волн напряжений через массив, активизирует трещинообразование, проникновение продуктов детонации в макротрещины, сдвигание призм выброса в сторону поверхностей обнажения, дробление кусков породы при разлете за счет соударения. Способ реализуется по принципу «одно замедление – один ряд скважин».

Недостатком способа является пиковое нагружение массива волнами напряжений и продуктами детонации, большой разброс горной массы в развале и, как следствие, узкая область применения. Способ не применим в слаботрещиноватых породах, оказывает вредное сейсмическое воздействие на окружающие объекты, затрудняет экскавацию горной массы.

К более универсальным относится клинообразный способ взрывания с центральным расположением ряда начала детонации. Способ реализуется коммутацией замедлений на поверхности массива по схеме «елочка». При этом по центральному ряду вначале образуется клинообразная выемка, которая затем клинообразно расширяется и продвигается вглубь массива. Особенностью способа является взрывание скважин на поверхность обнажения, образуемую клинообразной выемкой, с поочередным инициированием скважин в направлении от основания клина к его острию, при этом скважина центрального ряда начала детонации взрывается последней. Способ реализуется по принципу «одно замедление – одна скважина» и позволяет рассредоточить нагружение массива волнами напряжений и продуктами детонации и, таким образом, уменьшить сейсмичку до безопасного уровня. Благодаря клинообразной поверхности обнажения формируется компактная форма развала, облегчающая экскавацию горной массы.

Недостатком данного способа является плохая управляемость взрывом и вследствие этого недостаточная проработка массива всеми видами физико-механических воздействий, обеспечивающих хорошее качество дробления горных пород. В результате после взрыва наблюдается большой выход некондиционной фракции в виде негабаритов, затрудняющих экскавацию горной массы, повышающих затраты на вторичное дробление.

Образование клинообразной выемки начинается со взрывания скважин на одну поверхность обнажения, ко-

торая, углубляясь внутрь массива, сужается по фронту, ограничивая действие волн напряжений, отраженных от поверхности обнажения. Это сужает действие прямых и отраженных волн напряжений от соседних зарядов, снижает интенсивность их взаимодействия, препятствует проявлению интерференции, которая могла бы усилить действие создаваемых ударными и отраженными волнами сжимающих и растягивающих нагрузок. Это не позволяет ослабить массив, создать в нем условия для трещинообразования, проникновения газообразных продуктов детонации в радиальные макротрещины и разрушения массива давлением газов.

Под действием взрыва, производимого данным способом взрывания, происходит переизмельчение породы вблизи заряда и откалывание призмы выброса от массива с недостаточным ее разрушением для последующего более качественного дробления кусков породы в процессе их разлета и соударения.

Другим недостатком этого способа является то, что направления разлета кусков породы пересекаются под острыми углами, что препятствует их качественному дроблению. Известно, что дробление становится эффективным при встречном взрывании или углах пересечения потоков, близких к 90° . Данный же способ взрывания не позволяет направить призмы выброса соседних зарядов навстречу друг другу или под углами, близкими к 90° .

Результатом применения данного способа становится плохое качество дробления пород, неравномерный их гранулометрический состав, наличие в развале переизмельченной горной массы и некондиционной фракции в виде негабаритов, затрудняющих экскавацию, повышающих затраты на вторичное дробление. После изучения взаимосвязи между системой и технологией разработки полезных ископаемых [10] удалось создать способ взрывания, повышающий качество дробления горных пород взрывом за счет улучшения управления разрушающими физико-механическими воздействиями, комплексного их использования и направления на максимальное достижение результата при взрывании пород любой крепости и трещиноватости.

Улучшение качества дробления горных пород взрывом достигается тем, что в способе взрывания с центральным расположением ряда начала детонации вначале последовательно одну за другой взрывают две крайние скважины центрального ряда. Затем взрывают две боковые соседние скважины, расположенные по разные стороны от него, образуя клиновой вруб, на который потом поэтапно взрывают соседние скважины, на каждом этапе сохраняя форму клина, причем скважину, образующую острие клина, взрывают с опережением.

Способ поясняется чертежами, где на рис. 1 представлена схема короткозамедленного взрывания с очередностью инициирования зарядов, позволяющей эффективно управлять взрывом, перераспределяя энергию на все виды физико-механических воздействий, обеспечивающих качественное дробление пород. Очередность инициирования скважинных зарядов указана цифрами 1-14.

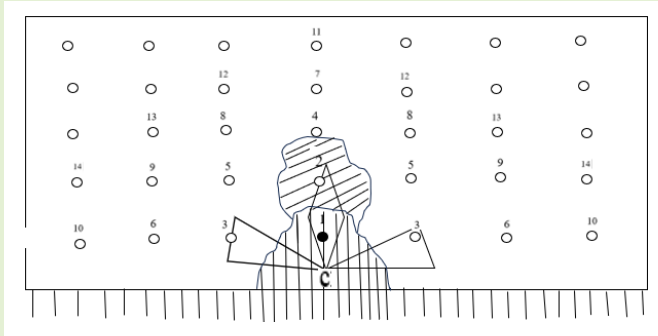






Рис. 1. Схема короткозамедленного взрывания с заданной очередностью инициирования зарядов.

Сурет 1. Зарядтарды бастаудың берілген кезектілігі бар қысқа мерзімді жарылыс схемасы.

Figure 1. A short-range detonation scheme with a given sequence of charge initiation.

Обозначение

-  *Направление движения отбитой горной массы после взрыва скважины 2.*
-  *Направление движения горной массы после взрыва скважин 3.*
-  *Объем горной массы, отбиваемый скважиной 2, развивающий плоскости обнажения.*
-  *Плоскости обнажения после взрыва скважины 1.*

1, 2, 3 и т.д. – номера скважин и порядок их инициирования.

Вначале последовательно друг за другом взрывают две крайние скважины центрального ряда начала детонации. Скважину 1 взрывают без замедления, а скважину 2 взрывают со штатным замедлением. Затем со следующим интервалом замедления взрывают боковые скважины 3. Таким образом, после взрыва скважины 2 массив приводится в напряженное состояние, облегчающее действие зарядов второй очереди – скважин 3, образующих клиновой вруб с двумя дополнительными плоскостями обнажения. При этом возникает сложная картина наложения друг на друга волн напряжений, усиленных интерференцией, массив ослабляется. В нем появляются радиальные трещины, в которые проникают газообразные продукты взрыва. Под действием давления газов массив разрушается.

В дальнейшем процесс дробления кусков породы происходит за счет соударения их между собой в точке С. Поскольку кускам породы от взрыва скважины 2 приходится преодолевать большее расстояние до точки С, чем кускам от взрыва скважин 3, скважина 2 взрывается с опережением. Это позволяет потокам от взрыва всех трех скважин пересечься в одной точке. Причем потоки кусков от взрыва скважин 3 пересекаются под углом, близким к 180°. Происходит практически лобовое столкновение направленных навстречу друг другу потоков кусков породы, что способствует интенсивному их дроблению и укладке взорванной и раздробленной горной массы в компактный развал.

В результате первого этапа после взрыва четырех скважин образуется клиновой вруб с двумя направленными под углом друг к другу поверхностями обнажения, на которые взрываются соседние скважины, начиная со скважины 4, образующей острие клина. При этом по максимуму проявляются все виды физико-механических воздействий. Далее, после взрыва скважин 4-14, дробление за счет соударения уменьшается. В то же время сопротивление массива взрывному разрушению ослабляется уже за счет интенсивного развития плоскостей обнажения, увеличения интенсивности отраженных волн напряжений и взаимодействия их с ударными волнами от соседних зарядов. Это ускоряет трещинообразование массива, проникновение в макротрещины продуктов детонации, способствующих окончательному разрушению массива и разлету кусков породы.

Промышленные испытания способа проводились при взрывании пород различной крепости и трещиноватости. В слабых и трещиноватых породах с коэффициентом крепости $f = 8 - 12$ по шкале Протодяконова способ испытывали с большими интервалами замедлений в 42 и 65 мс. Это позволило несколько уменьшить интенсивность взаимодействия волн напряжений в массиве, но увеличить скорость разлета кусков породы. Большие интервалы замедлений в сочетании с предлагаемой последовательностью взрывания скважин позволили усилить эффект дробления слабых и сильно трещиноватых пород, обеспечив свободный разлет разрушенных до мелких фрагментов призм выброса с высокой скоростью в направлениях, наиболее благоприятных для дробления горной массы за счет использования кинетической энергии.

В породах средней крепости с $f = 12 - 16$ способ применяли с интервалами замедлений в 33 и 42 мс.

При этом эффект взаимодействия волн напряжений значительно усилился за счет резкого уменьшения интервала замедления между взрывами скважины 2 и скважин 3 до 9 мс. Доминирующим фактором при этом стала предлагаемая очередность взрывания, обеспечивающая интенсивное развитие плоскостей обнажения, способствующих усилению действия отраженных волн напряжений. Создаваемые прямыми и отраженными волнами сжимающие и растягивающие нагрузки ослабили массив, способствовали активному трещинообразованию и дроблению породы давлением газов.

В крепких породах с $f = 16 - 20$ применяли замедления в 25 и 33 мс, благодаря чему интервал между взрывами скважин 2 и 3 был уменьшен до 8 мс.

В результате реализации данного способа взрывания в крепких породах наибольшее количество энергии было направлено на увеличение напряженного состояния, создание интерференции волн напряжений и ослабление прочности массива. Последующее развитие плоскостей обнажения и рациональное направление разлета кусков породы позволили завершить разрушение массива и получить нужный гранулометрический состав горной массы в развале.

Результаты промышленных испытаний данного способа взрывания пород разной крепости и трещиноватости представлены в таблице 1. Гранулометрический состав

Таблица 1

Результаты испытаний способа взрывания в породах разной крепости и трещиноватости

Кесте 1

Әртүрлі бекіністер мен жарықтар жыныстарындағы жарылыс әдісін сынау нәтижелері

Table 1

Test results of the blasting method in rocks of different strength and fracturing

Показатели взрывания	Карьеры и способы взрывания					
	Мынарал		Оркен-Атансор		Кентобе	
	Штатный	Испытываемый	Штатный	Испытываемый	Штатный	Испытываемый
Крепость пород по шкале Протодяконова	8-12	8-12	12-16	12-16	16-20	16-20
Категория трещиноватости по классификации Межведомственного Совета	I-II	I-II	II-III	II-III	IV-V	IV-V
Диаметр скважин, мм	86	86	156	156	250	250
Глубина скважин, м	11-14	11-14	11-12	11-12	11,5	11,5
Сетка бурения, м ²	3x3	3x3	5x5	5x5	6x5	6x5
Объем взорванного блока, м ³	95500	72470	111430	80570	75980	83540
Количество израсходованных ВВ, кг	85000	64500	78000	56400	62300	68500
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,89	0,89	0,70	0,70	0,82	0,82
Предельный размер куска, мм	800	800	800	800	800	800
Выход негабарита, %	8,0	6,4	5,0	3,2	5,0	4,3

Таблица 2

Оценка качества дробления

Кесте 2

Ұсақтау сапасын бағалау

Table 2

Evaluation of crushing quality

Наименование карьеров	Показатели кусковатости и содержание фракций в развале, %				
	-200мм	-400мм	-600мм	-800мм	+800мм
Мынарал	8,2	30,2	29,7	25,5	6,4
Оркен-Атансор	6,4	26,1	34,6	29,7	3,2
Кентобе	5,3	24,5	38,1	27,8	4,3

взорванной данным способом породы на разных карьерах характеризовался равномерной кусковатостью без переизмельчения. Крупность кусков увеличивалась в направлении от центра к периферии массива. Кусковатость определялась фотометрическим способом и оценивалась по содержанию пяти фракций в развале: -200, -400, -600, -800 и +800 мм (таблица 2).

Как видно из таблиц 1 и 2, применение предлагаемого способа взрывания позволяет повысить качество дробления пород любой крепости и трещиноватости с 5-8% некондиционности до 3,2-6,4%.

Таким образом, предлагаемый способ взрывания позволил улучшить управление взрывом за счет целенаправ-

ленного распределения взрывной энергии на все виды физико-механических воздействий, обеспечивающих качественное дробление горных пород любой крепости и трещиноватости.

Заклучение

В отличие от многорядного способа взрывания предлагаемый способ позволяет исключить пиковое нагружение массива волнами напряжений, перенаправить основную часть энергии на дробление пород, находящихся на удалении от зарядов. А опережающее взрывание двух крайних скважин центрального ряда начала детонации позволяет привести массив в напряженное состояние и образовать

клиновой вруб с двумя дополнительными плоскостями обнажения, направив физико-механические воздействия взрыва на интенсивное соударение кусков породы и дробление. В дальнейшем сопротивление массива взрывному разрушению ослабляется за счет развития плоскостей обнажения, увеличения интенсивности отраженных от них волн напряжений и взаимодействия их с ударными волнами от соседних зарядов. Это способствует дроблению пород, находящихся на удалении от зарядов. Данный спо-

соб взрывания позволил улучшать управление взрывом за счет целенаправленного распределения взрывной энергии на все виды физико-механических воздействий, обеспечивающих качественное дробление горных пород любой крепости и трещиноватости. Это позволяет улучшить гранулометрический состав горной массы в развале, уменьшить переизмельчение, снизить выход некондиционной фракции в виде негабаритов, улучшить процесс экскавации, снизить затраты на вторичное дробление.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козырев С.А. Оценка взаимодействия скважинных зарядов при различных интервалах замедлений между ними. / С.А. Козырев, В.Н. Камянский, И.А. Аленичев. // Взрывное дело. 2017. №117/74. С. 60-75 (на русском языке)
2. Камянский В.Н. Оценка влияния сейсмозрывных нагрузок в ближней зоне взрыва. // ГИАБ. 2017. №23. С. 316-325 (на русском языке)
3. Козырев С., Аленичев И., Каменский В. Особенности разрушения внеконтурного массива горных пород, связанного с подрывом системы скважинных зарядов. // Международная междисциплинарная научная геоконференция SGEM, 2017. T17. №13. – С. 653-659 (на английском языке)
4. Волков М.А. Изучение физико-механических свойств горных пород на разных этапах разрушения. / М.А. Волков, Д.В. Соловьев, Л.А. Белина, А.Г. Пимонов. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. С. 16-19 (на русском языке)
5. Калюжный Е.С. Определение физико-механических свойств горных пород Сарбайского карьера. / Е.С. Калюжный, В.А. Асанов, С.А. Съедина, Н.Д. Рахимов. // Горный журнал Казахстана. 2018. №9. С. 26-29 (на русском языке)
6. Кабве Е. Измерение скорости детонации и анализ дробления для оценки эффективности взрывных работ. // Журнал механики горных пород и геотехники. 2018. №10 (3). С. 523-533 (на английском языке)
7. Жариков С.Н., Кутуев В.А. О закономерностях протекания детонации взрывчатых веществ. // Взрывное дело. 2022. №135/92. С. 115-131 (на русском языке)
8. Силва Дж. Анализ надежности проведения взрывных работ в зависимости от типа и времени замедления. / Силва Дж., Ли Л., Джернанд Джерери М. // Международный журнал горных наук и технологий. 2018. Т. 28. №2. С. 195-204 (на английском языке)
9. Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Дробление горных пород взрывом в карьерах. // Научное издание. 2020. С. 400-404 (на русском языке)
10. Ракишев Б.Р. Взаимосвязь между системой и технологией открытой разработки полезных ископаемых. // Горный журнал Казахстана. 2017. №1. С.20-27 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Козырев С.А. Ұңғымалардың өзара әрекеттесуін бағалау заряд олардың арасындағы әр түрлі баяулау аралықтарында. / С.А. Козырев, В.Н. Камянский, И.А. Аленичев. // Жарылыс іс. 2017. №117/74. Б. 60-75 (орыс тілінде)
2. Камянский В.Н. Жақын жарылыс аймағында сейсмикалық жарылыс жүктемелерінің әсерін бағалау. // Тау-кен ақпараттық аналитикалық бюллетень. 2017. №23. Б. 316-325 (орыс тілінде)
3. Козырев С., Аленичев И., Каменский В. Ұңғымалық зарядтау жүйесінің бұзылуымен байланысты тау жыныстарының контурдан тыс массивінің жойылу ерекшеліктері. // SGEM Халықаралық панаралық ғылыми геоконференциясы, 2017. T17. №13. – Б. 653-659 (ағылшын тілінде)
4. Волков М.А. Жоюдың әртүрлі кезеңдеріндегі тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу. / М.А. Волков, Д.В. Соловьев, Л.А. Белина, А.Г. Пимонов. // Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. 2017. Б. 16-19 (орыс тілінде)
5. Калюжный Е.С. Сарбай карьерінің тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттерін анықтау. / Е.С. Калюжный, В.А. Асанов, С.А. Съедина, Н.Д. Рахимов. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2018. №9. Б. 26-29 (орыс тілінде)
6. Кабве Е. Жарылыс жұмыстарының тиімділігін бағалау үшін детонация жылдамдығын өлшеу және ұсақтауды талдау. // Тау жыныстары механикасы және геотехника журналы. 2018. №10 (3). Б. 523-533 (ағылшын тілінде)
7. Жариков С.Н. Жарылғыш заттардың детонациясының заңдылықтары. / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев. // Жарылыс іс. 2022. №135/92. Б. 115-131 (орыс тілінде)

8. Сильва Дж. Баяулау түрі мен уақытына байланысты жарылыс жұмыстарының сенімділігін талдау. / Сильва Дж., Ли Л., Джернанд Джереми М. // Халықаралық тау-кен ғылымдары және технологиялар журналы. 2018. Т. 28. №2. Б. 195-204 (ағылшын тілінде)
9. Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н. Карьерлердегі жарылыспен тау жыныстарын ұсақтау. // Ғылыми басылым. 2020. Б. 400-404 (орыс тілінде)
10. Ракишев Б.Р. Пайдалы қазбаларды ашық игеру жүйесі мен технологиясы арасындағы байланыс. // Қазақстан тау-кен журналы. 2017. №1. Б.20-27 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Kozyrev S.A. Otsenka vzaimodeistviya skvazhinnykh zaryadov pri razlichnykh intervalakh zamedlenii mezhdurimi. / S.A. Kozyrev, V.N. Kamyanskii, I.A. Alenichev. // Vzryvnoe delo. 2017. №117/74. S. 60-75 [Kozyrev S.A. Evaluation of the interaction of borehole charges at various intervals of deceleration between them. / Kozyrev S.A., Kamyansky V.N., Alenichev I.A. // Explosive business. 2017. №117/74. P. 60-75] (in Russian)
2. Kamyanskii V.N. Otsenka vliyaniya seismovzryvnykh nagruzok v blizhnei zone vzryva. // GIAB. 2017. №23. S. 316-325 [Kamyansky V.N. Assessment of the impact of seismic and explosive loads in the near explosion zone. // MIAB. 2017. №23. P. 316-325] (in Russian)
3. Kozyrev S., Alenichev I., Kamensky V. Features of the destruction of an out-of-contour rock mass associated with the undermining of the borehole charge system. // International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 2017. Vol. 17. №13. – P. 653-659 (in English)
4. Volkov M.A. Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornyykh porod na raznykh etapakh razrusheniya. / M.A. Volkov, D.V. Solov'ev, L.A. Belina, A.G. Pimonov. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. S. 16-19 [Volkov M.A. Study of the physical and mechanical properties of rocks at different stages of destruction. / M.A. Volkov, D.V. Solovyov, L.A. Belina, A.G. Pimonov. // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2017. P. 16-19] (in Russian)
5. Kalyuzhnyi E.S. Opredelenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornyykh porod Sarbaiskogo kar'era. / E.S. Kalyuzhnyi, V.A. Asanov, S.A. S'edina, N.D. Rakhimov. // Gornyy zhurnal Kazakhstana. 2018. №9. S. 26-29 [Kalyuzhny E.S. Determination of the physico-mechanical properties of rocks of the Sarbai quarry. / E.S. Kalyuzhny, V.A. Asanov, S.A. S'edina, N.D. Rakhimov. // Mining Journal of Kazakhstan. 2018. №9. P. 26-29] (in Russian)
6. Kabve E. Measurement of detonation velocity and crushing analysis to assess the effectiveness of blasting operations. // Journal of Rock Mechanics and Geotechnics. 2018. №10 (3). P. 523-533 (in English)
7. Zharikov S.N., Kutuev V.A. O zakonomernostyakh protekaniya detonatsii vzryvchatykh veshchestv. // Vzryvnoe delo. 2022. №135/92. S. 115-131 [Zharikov S.N., Kutuev V.A. On the patterns of detonation of explosives. // Explosive business. 2022. №135/92. P. 115-131] (in Russian)
8. Silva J. Analysis of the reliability of blasting operations depending on the type and time of deceleration. / Silva J., Lee L., Jernand Jeremy M. // International Journal of Mining Sciences and Technologies. 2018. Vol. 28. №2. P. 195-204 (in English)
9. Kazakov N.N., Viktorov S.D., Shlyapin A.V., Lapikov I.N. Droblenie gornyykh porod vzryvom v kar'erakh. // Nauchnoe izdanie. 2020. S. 400-404 [Kazakov N.N. Crushing of rocks by explosion in quarries. / N.N. Kazakov, S.D. Viktorov, A.V. Shlyapin, I.N. Lapikov. // Scientific publication. 2020. P. 400-404] (in Russian)
10. Rakishev B.R. Vzaimosvyaz' mezhdurimi sistemoi i tekhnologiei otkrytoi razrabotki poleznykh iskopaemykh. // Gornyy zhurnal Kazakhstana. 2017. №1. S.20-27 [Rakishev B.R. The relationship between the system and the technology of open-pit mining. Mining journal of Kazakhstan. 2017. №1. P. 20-27] (in Russian)

Сведения об авторах:

Сагидуллаев С.А., Главный эксперт управления горно-металлургической промышленности Комитета промышленной безопасности МЧС РК (г. Астана, Казахстан), sagidullaev.a@emer.kz; <https://orcid.org/0009-0005-4585-0687>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сагидуллаев С.А., ҚР ТЖМ өнеркәсіптік қауіпсіздік комитеті тау-кен металлургия өнеркәсібі басқармасының бас сарапшысы (Астана қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sagidullaev S., Chief Expert of the Department of Mining and Metallurgical Industry of the Committee for Industrial Safety of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)