

Код МРНТИ 52.13.21

Н.Б. Бахтыбаев¹, О.А. Абиль¹, *К.Т. Атагелдиев², Е.Т. Нурбобоев³¹ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан),²НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»

(г. Караганда, Казахстан),

³Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова

(г. Ташкент, Узбекистан)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КУСКОВАТОСТИ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЛЫН

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, направленных на повышение качества буровзрывных работ для достижения оптимальной кусковатости взорванной горной массы на примере угольного месторождения Жалын. Проведен комплексный анализ с использованием сейсмографов ZET 7152-N и программного обеспечения WipFrag. Результаты показали, что при высокой плотности зарядов и уменьшении шага скважин достигается минимальный средний размер кусков, тогда как для крупных блоков наблюдается рост доли негабарита. Разработаны рекомендации по применению поправочных коэффициентов удельного расхода ВВ на основе моделей Кутузова Б.Н. и KUZ-RAM, что позволит оптимизировать расход ВВ, улучшить фрагментацию и снизить сейсмическое воздействие.

Ключевые слова: буровзрывные работы, кусковатость горной массы, удельный расход взрывчатых веществ, сейсмический мониторинг, WipFrag, модель KUZ-RAM, скорость колебаний частиц, фрагментация, месторождение Жалын.

Жалын кенорны мысалында жарылған тау жыныстарының оңтайлы ірілігіне қол жеткізу үшін бұрғы-жарылыс жұмыстарының сапасын арттыру

Аннотация. Мақалада Жалын көмір кенорнының мысалында жарылған тау-кен массасының оңтайлы кесектілігіне қол жеткізу үшін бұрғы-жарылыс жұмыстарының сапасын арттыруға бағытталған зерттеулердің нәтижелері келтірілген. ZET 7152-N сейсмографтары мен WipFrag бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып кешенді талдау жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, зарядтардың жоғары тығыздығы мен ұңғымалар қадамының азаюы кезінде кесектердің минималды орташа өлшеміне қол жеткізіледі, ал ірі блоктар үшін габариттен тыс фракция үлесінің артуы байқалады. Б.Н. Кутузов және KUZ-RAM модельдерінің негізінде Жарылғыш зат (ЖЗ) үлестік шығынының түзету коэффициенттерін қолдану бойынша ұсыныстар әзірленді, бұл ЖЗ шығынын оңтайландыруға, фрагментацияны жақсартуға және сейсмикалық әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: бұрғылау-жарылыс жұмыстары, тау жыныстарының кесектелінуі, жарылғыш заттардың мөңгікті шығыны, сейсмикалық мониторинг, WipFrag, KUZ-RAM моделі, жарылыс параметрлерін оңтайландыру, фрагментация, Жалын кенорны.

Improving the quality of drill-and-blast operations to achieve optimal rock fragmentation: a case study of the Zhalyin deposit

Abstract. The article presents the results of research aimed at improving the quality of drilling and blasting operations to achieve optimal fragmentation of the blasted rock mass, using the Zhalyin coal deposit as a case study. A comprehensive analysis was conducted using ZET 7152-N seismographs and WipFrag software. The results showed that a minimum average fragment size is achieved with high charge density and reduced borehole spacing, whereas an increase in the oversize fraction is observed for large blocks. Recommendations for applying correction factors for the specific consumption of explosives were developed based on the Kutuzov B.N. and KUZ-RAM models. These recommendations will make it possible to optimize explosive consumption, improve fragmentation, and reduce seismic impact.

Key words: drill-and-blast operations, rock fragmentation, specific explosive consumption, seismic monitoring, WipFrag, KUZ-RAM model, particle vibration velocity, fragmentation, Zhalyin deposit.

Буровзрывные работы (БВР) являются основным способом дробления горной массы в горнодобывающей промышленности. Они напрямую влияют на последующие процессы, такие как дробление и переработка горной массы, что делает важным их оптимизацию для повышения экономической и технологической эффективности. Одним из ключевых факторов, определяющих качество, оптимальными показателями буровзрывных работ являются гранулометрический состав взорванной горной массы и рациональное использование энергии взрыва с соблюдением проектных положений горных выработок. Оптимальное дробление снижает необходимость повторного измельчения негабаритов, сокращая затраты на взрывные работы и эксплуатацию оборудования, такого как дробилки. Рациональное распределение энергии взрыва с учетом сохранения контуров горных выработок способствует снижению объемов переизмельчения, уменьшению негабаритов и обеспечивает устойчивость бортов, что в целом положительно сказывается на работе предприятия [1–3].

Учитывая вышеперечисленные факторы, целью данной работы является повышение качества БВР для достижения оптимальной кусковатости взорванной горной массы

на примере месторождения Жалын за счет анализа физико-механических свойств массива, параметров ранее выполненных взрывов, мониторинга сейсмических воздействий и разработки обоснованных рекомендаций.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ исходных данных месторождения Жалын и параметров ранее выполненных буровзрывных работ, выполнены инструментальные замеры сейсмического влияния взрывных работ на массив, оценка гранулометрического состава горной массы, а также разработаны рекомендации по повышению эффективности буровзрывных работ.

Материалы и методы исследования

Исследуемый объект – угольное месторождение Жалын – расположено в Жанааркинском районе Улытауской области Республики Казахстан, в 350 километрах от города Караганды.

Особое значение для условий ведения буровзрывных работ имеет верхний угольный горизонт – наиболее мощный и устойчивый в строении. Его мощность колеблется от 8 до 44 м, с угольными пачками до 13 м, разделенными прослоями углистых и темно-серых аргиллитов.

Верхние слои разреза включают песчаники и алевролиты различного состава. Основу обломочного материала составляют слои кислых вулканитов, кремнистых пород, кварца, полевых шпатов, кварцитов и в меньшей степени – биотита, циркона и апатита. Размер обломков варьируется от 0,1 до 3 мм, форма преимущественно угловатая, сортировка плохая. Цемент песчаников представлен глинисто-карбонатными и сидеритовыми разновидностями.

Объемный вес пород варьируется от 2,2 до 2,7 т/м³, влажность – от 0,5 до 25,9%, пористость – от 1,5 до 26%. Наименьшие значения этих параметров характерны для плотных карбонатных пород, а наибольшие – для глинистых и песчаных отложений. Коэффициент крепости по шкале Протодяконова изменяется от 0,01 (глины) до 6 (известняки и диабазовые туфы). Удельное сопротивление сжатию составляет от 0,09 до 10–12 кг/см².

Таким образом, сложное литолого-стратиграфическое строение месторождения Жалын, представленное чередованием различных по прочности и трещиноватости пород, оказывает значительное влияние на эффективность буровзрывных работ и конечную кусковатость взорванной горной массы. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании и оптимизации технологических параметров [4].

В ходе изучения ранее выполненных взрывов на месторождении Жалын было проанализировано 10 блоков, охватывающих полезное ископаемое и породный массив. Объемы взрывающейся массы варьировались от 1 400 м³ до 45 621 м³, с различной сеткой бурения от 7 × 6 м до 7 × 8 м и глубиной скважин в среднем от 5,0 до 10,3 м. Коэффициент крепости пород менялся от 1 до 5,5.

Количество скважин на каждый взрыв варьировалось от 5 до 45 и удельный расход ВВ – от 0,22 до 0,25 кг/м³.

Для мониторинга за БВР использовались сейсмографы ZET 7152-N VER.2. Система, состоящая из 2 сейсмографов, размещалась вблизи взрывающихся блоков на территории разреза.

Датчик № 1 – в непосредственной близости от взрывающихся блоков, в то время как датчик № 2 устанавливался на борту разреза. Пример готового к замеру виброметра иллюстрирован на рис. 1.

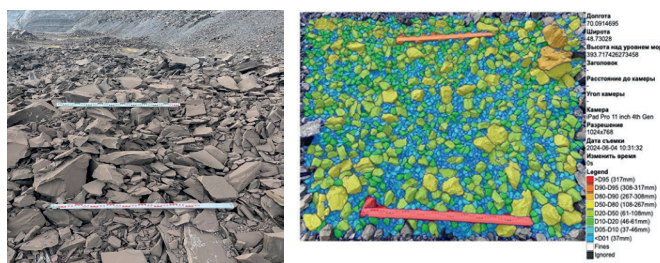
Перед началом работ в первую очередь были настроены каналы фильтрации записанных данных с виброметра. Во время взрывных работ для исследования скорости смещения и максимального ускорения частиц горных пород были настроены 6 каналов по осям XYZ с линейной и интегральной обработкой первого типа. Всего было зафиксировано 6 массовых взрывов.

Процесс обработки результатов замеров сейсмического влияния взрывных работ на массив состоит из воспроизведения ранее записанного взрыва через фильтр сигналов. Результаты взрыва в виде графика отображаются на многоканальном осциллографе, разделенный по единицам измерения и осям соответственно (рис. 3).

Для определения максимальных значений колебаний частиц и ускорения горных пород использовалась программа виброметр. Данная программа позволяет определить значения виброскорости, виброускорения и вибросмещения.



Рис. 1. Установленный виброметр в рабочем состоянии.
Сурет 1. Жұмыс күйінде орнатылған виброметр.
Figure 1. Installed vibrometer in working condition.



а) б)
Рис. 2. Гранулометрический анализ.
Сурет 2. Гранулометриялық талдау.
Figure 2. Granulometric analysis.

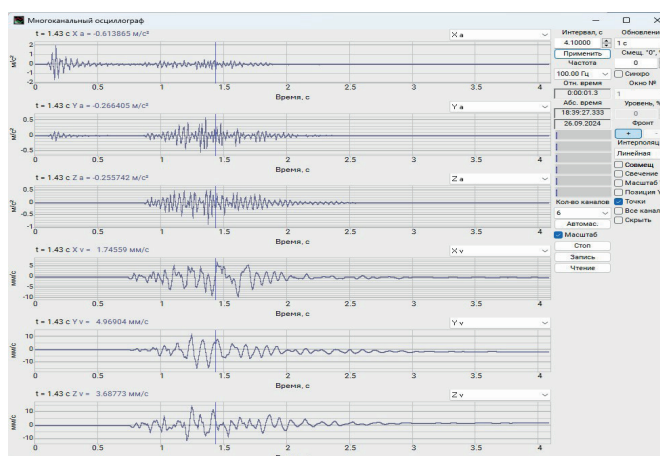


Рис. 3. Результат взрыва в многоканальном осциллографе.
Сурет 3. Көп арналы осциллографтағы жарылыстың нәтижесі.
Figure 3. The result of an explosion in a multichannel oscilloscope.

Для оценки granulometricкого состава использовалось программное обеспечение WipFrag, которое анализирует цифровые изображения для определения размера

фрагментов. Понимание показателей фрагментации взорванной горной массы поможет оценить эффективность применяемых параметров взрывной сети [5–7].

Порядок работ для эффективного гранулометрического анализа:

1) выполнение качественных фотографий после взрывных работ с использованием геодезической рейки в количестве двух единиц в целях программного определения угла падения кучи для получения более детального анализа о размерах кусков на разной высоте от поверхности (рис. 2 а);

2) обработка фотографий в программном обеспечении *Wipfrag*. Отрисовка контуров каждого фрагмента (рис. 2 б);

3) составление отчета и запуск аппаратного определения процента прохождения частиц через «сито» с заранее настроенными размерами.

Результаты и обсуждение

Вышеизложенные исследования позволили выявить максимально отрицательные и максимально положительные значения по PPV и ускорению (рис. 4).

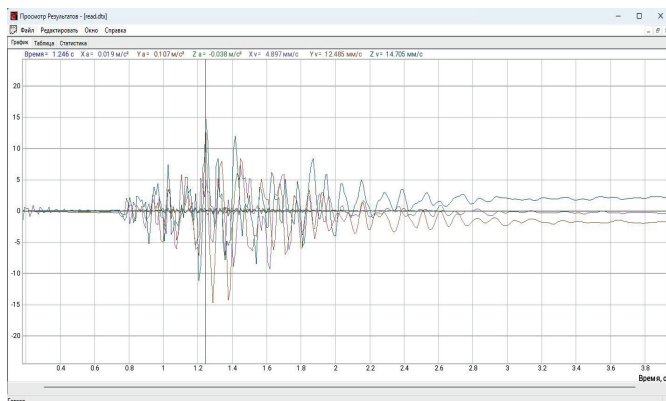


Рис. 4. Сейсмограмма обработанных записей ВР.

Сурет 4. ЖЖ өңделген жазбаларының сейсмограммасы.

Figure 4. Seismogram of processed BP records.

Анализ графиков показывает резкое снижение скорости колебаний частиц с увеличением расстояния до блока. На малых расстояниях до 100 м значения PPV достигают максимальных величин (например, для взрыва № 4 – до 1679,569 мм/с по направлению X на расстоянии 9,11 м). После 200 м значения уменьшаются до уровня менее 10 мм/с.

На представленном графике показана зависимость показателей PPV от расстояния до эпицентра взрыва (рис. 5).

На графике видно, что максимальные значения PPV отмечены вдоль оси X, что также подтверждается данными сейсмографа. Для направлений Y и Z значения PPV ниже, что может указывать на анизотропные свойства массива или особенности установки виброметра, так как сам виброметр был ориентирован на север, в то время как направление взрывной энергии пришлось на ось X.

При расстояниях более 150 м (например, для взрывов № 2 и № 5) значения PPV не превышают критических

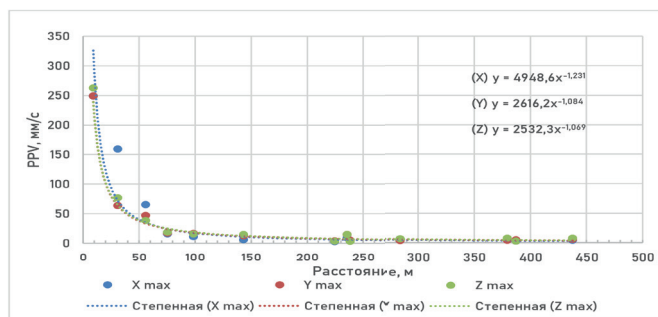


Рис. 5. Зависимость показателей скорости колебания частиц от расстояния.

Сурет 5. Болшектердің тербеліс жылдамдығы көрсеткіштерінің қашықтыққа тәуелділігі.

Figure 5. Dependence of particle vibration velocity on distance.

уровней, обеспечивая безопасность по сейсмическому влиянию взрывных работ для инфраструктуры.

Для взрыва № 4, где зафиксированы высокие значения PPV, объем блока составил 45 621 м³. Это может свидетельствовать о повышенной интенсивности взрыва при большем объеме заряда. Во время взрыва № 4 всего было использовано 9580 кг взрывчатого вещества «Нитрат Power». Замедление между скважинами составляет 25 мс, между рядами 42 мс. Инициация производилась от центра блока по двум направлениям – север и юг.

На расстоянии 250–500 м показатели PPV становятся минимальными (< 10 мм/с), что соответствует безопасному уровню вибраций для большинства объектов.

Согласно СН РК 2.03-28-2004 «Шкала оценки интенсивности землетрясений MSK-64 (К)» запись взрыва № 4 на расстоянии 9,11 м относится к 9 баллу по скорости смещения и 7 баллу по ускорению [8].

Ускорение частиц демонстрирует закономерности, схожие с PPV (рис. 6): резкое снижение вблизи взрыва и стабилизация на низких уровнях при увеличении расстояния. Например:

1) на расстояниях более 200 м ускорения стабилизируются на уровне менее 1 м/с²;

2) для блока № 4 максимальное ускорение вдоль оси X достигает 10,413 м/с², что подтверждает интенсивность вибраций вблизи эпицентра.

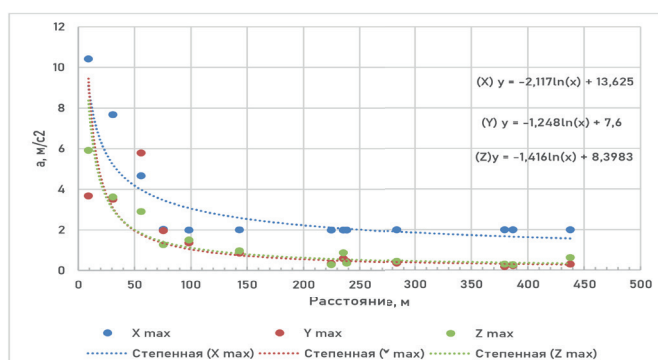


Рис. 6. Зависимость показателей ускорения от расстояния.

Сурет 6. Жылдамдату көрсеткіштерінің қашықтыққа тәуелділігі.

Figure 6. Dependence of acceleration indicators on distance.

Разрушение горных пород

Значения ускорений быстрее снижаются с расстоянием по сравнению с PPV, что характерно для процессов диссипации энергии в массиве.

После обработки фотографий по всем наблюдаемым блокам был произведен статистический анализ результатов гранулометрического анализа, в ходе которого были определены средние размеры кусков (рис. 7).

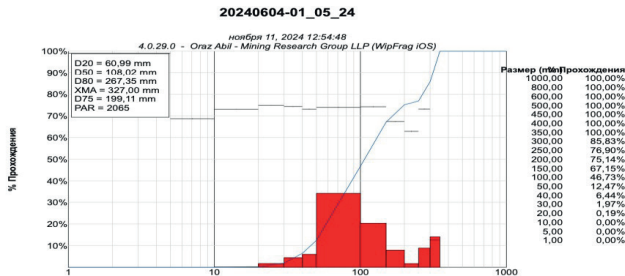


Рис. 7. График распределения фракций взорванной горной массы.

Сурет 7. Жарылған тау-кен массасының фракцияларға бөліну кестесі.

Figure 7. Graph of the distribution of fractions of the blasted rock mass.

Анализ гранулометрического состава горных пород по данным ПО WipFrag показал, что медианный размер фрагментов составляет $D50 = 108,02$ мм, при значениях $D20 = 60,99$ мм и $D80 = 267,35$ мм, что свидетельствует о равномерной и мелкой фрагментации массива. Максимальный размер фрагментов не превышает 327 мм, более 75% взорванной горной массы представлено фракциями менее 200 мм, что соответствует требованиям к кондиционному куску.

В рамках работы выполнен анализ зависимости кусковатости взорванной горной массы от удельного расхода ВВ. На графике (рис. 8, 9) представлена корреляция между объемом горной массы (m^3) и средним размером фрагментов породы (мм), полученным в результате буровзрывных работ. Выявленная зависимость аппроксимируется положительным линейным трендом. Тем не менее, количества наблюдаемых взрывных работ недостаточно для точного установления закономерности. Объем горной массы варьируется от 5000 до 45000 m^3 . Средний размер фрагментов составляет от 120 до 280 мм (таблица 1).

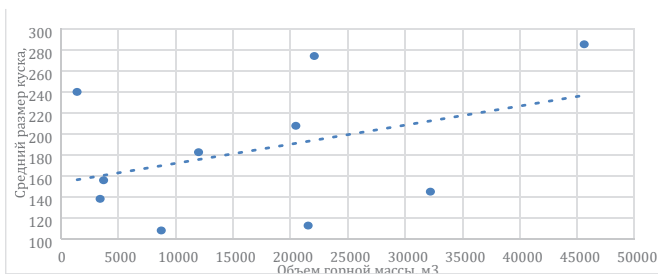


Рис. 8. Зависимость среднего размера фрагментов от объема взорванной горной массы.

Сурет 8. Жарылған тау-кен массасы көлеміне орташа фрагмент өлшемінің тәуелділігі.

Figure 8. Average fragment size versus blasted rock mass volume.

В отдельных случаях (например, при объемах около 25 000 m^3) наблюдаются значительно меньшие средние размеры фрагментов, что может быть следствием оптимального выбора параметров взрыва или высокой трещиноватости массива.

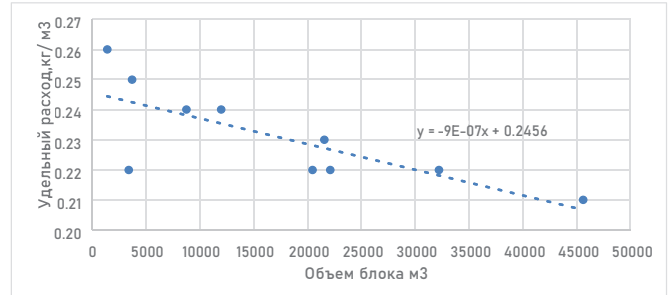


Рис. 9. Зависимость удельного расхода ВВ от объема блока.

Сурет 9. Жарғыш заттың меншікті шығынының блок көлеміне тәуелділігі.

Figure 9. Specific explosive consumption versus block volume.

Согласно выполненным наблюдениям, удельный расход взрывчатых веществ (ВВ) уменьшается с ростом объема блока. Для блоков с меньшим объемом удельный расход выше, достигая значений около 0,26 kg/m^3 , а для крупных блоков (около 45 000 m^3) он снижается до 0,21 kg/m^3 . Уравнение тренда отражает снижение удельного расхода примерно на $9E-07$ kg/m^3 с каждым увеличением объема блока на 1 m^3 . Это свидетельствует о более эффективном использовании ВВ на больших объемах массива. Стоит отметить, что согласно рисунку 10, удельный расход ВВ обратно пропорционален среднему размеру фракций: при увеличении расхода до 0,24–0,26 kg/m^3 средний размер фракций составляет 120–150 мм. Для меньшего удельного расхода (0,21–0,22 kg/m^3) размеры фракций возрастают до 240–280 мм.

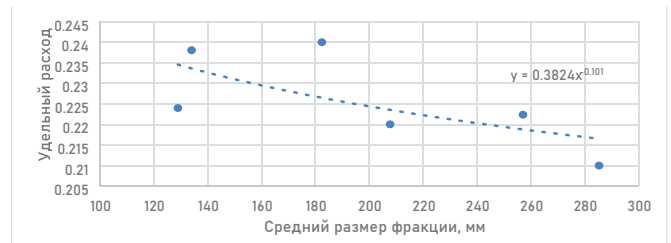


Рис. 10. Зависимость среднего размера фракций от удельного расхода ВВ.

Сурет 10. Фракциялардың орташа мөлшерінің ЖЗ меншікті шығынына тәуелділігі.

Figure 10. Average fragment size versus specific explosive consumption.

Блоки с меньшим объемом показывают меньший средний размер куска (137,99 мм) и более высокий удельный расход 0,246 kg/m^3 .

Крупные блоки имеют более крупный размер фракций 239,89 мм при низком удельном расходе 0,21 kg/m^3 , в связи

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа

Кесте 1

Гранулометриялық анализ нәтижелері

Table 1

Results of grain-size analysis

Дата	Блок	Горная масса	Объем, м ³	Сетка скважин, м	Глубина скважин, м	Уд. расход кг/м ³	Средний размер куска, мм	Выход некондиционных кусков > 500 мм, %
04.06.24	02-05-24	порода	3400	7x6	6.4	0,22	137,99	0
04.06.24	01-05-24	уголь	8750	7x6	7.8	0,24	108,02	0
04.06.24	03-05-24	порода	3700	7x6	5	0,25	155,89	0
29.08.24	05-08-24	порода	22100	7x7	8.5	0,22	274,18	0
29.08.24	06-08-24	порода	1400	7x7	5.8	0,26	239,88	0
08.09.24	01-09-24	уголь	32200	7x6	7.4	0,22	145	0
08.09.24	02-09-24	уголь	21550	7x6	8.3	0,23	112,69	0
26.09.24	03-09-24	порода	45621	7x7	10.3	0,21	285,29	22,37
27.09.24	05-09-24	уголь	11998	7x7	10	0,24	182,44	0
28.09.24	04-09-24	порода	20475	7x6	8.2	0,22	207,72	0

с чем наблюдается значительный выход некондиционных кусков 22,37%. Глубина скважин 6,4–8,2 м и размер сетки 7 × 6 м или 7 × 7 м существенно влияют на гранулометрию, исходя из результатов в таблице 1.

Проведенный гранулометрический анализ выявил зоны с особенно мелкой фракцией пород. Исходя из результатов гранулометрического анализа (таблица 1) видно, что размер значительной части фрагментов существенно меньше проектного кондиционного значения (< 500 мм). Отмечается явный перерасход ВВ (таблица 1). Это указывает на наличие запаса по качеству фрагментации, который можно использовать для оптимизации параметров буровзрывных работ.

Тем не менее, при принятом кондиционном куске 500 мм появляется некий коэффициент запаса, при учете которого появляется возможность оптимизации параметров БВР с дальнейшей экономией ВВ.

Согласно источнику [9], были выполнены теоретические расчеты удельного расхода ВВ. Расчеты удельного расхода ВВ для взрывов № 1–3 (Нитронит Э100) и № 4–10 (Нитропауэр) производились отдельно из-за разницы применяемых ВВ.

$$q_p = 0.13 \cdot \gamma \cdot \sqrt[4]{f} \cdot (0.6 + 3.3 \cdot d \cdot d_e) \cdot (0.5 \div d_k)^{0.4} \cdot k \quad (1)$$

где γ – объемный вес породы, т/м³;

f – коэффициент крепости

d – диаметр заряда, мм;

d_e – среднее расстояние между трещинами в массиве, м;

d_k – кондиционный кусок, мм;

k – коэффициент работоспособности ВВ.

Исходя из формулы 1, был произведен расчет удельного расхода ВВ. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

В результате визуального осмотра блоков во время и после проведения взрывных работ были зафиксированы и внесены в таблицу 2 данные о количестве «прострелов» и «отказов». Для оценки эффективности буровзрывных ра-

бот использовалась следующая методика: из общего числа скважин N вычиталось количество отказов $N_{отказ}$, а также половина от количества прострелов $0.5N_{прострел}$. Учет половины числа прострелов обусловлен тем, что скважина была отработана, но значительная часть энергии взрыва не была направлена в массив, что снижает эффективность использования взрывчатого вещества.

Согласно данным таблицы 2, эффективность БВР варьируется в диапазоне от 89,58% до 100%. Средний размер фрагментов породы находится в пределах от 108,02 мм до 285,29 мм, что соответствует установленным кондиционным значениям.

Из результатов можно заметить, что при расчетных показателях удельного расхода ВВ по угольным блокам, значения удельного расхода варьируются от 0,186 до 0,20 кг/м³. На основе этих данных был разработан поправочный коэффициент удельного расхода.

$$K_n = q_p \cdot q_\phi, \quad (2)$$

где q_p – расчетный удельный расход;

q_ϕ – фактический удельный расход.

Корректированный коэффициент учитывает максимальный размер кондиционного куска.

Поправочный коэффициент рекомендуется к применению при проектировании последующих массовых взрывов по следующей формуле:

$$q_{кор} = q_{проект} \cdot K_n. \quad (3)$$

Параллельно, были выполнены расчеты среднего размера куска (формула 4) по модели Кузнецова-Раммлера (KUZ-RAM) [10]. Имея выборку из 10 БВР, и их результатов в виде среднего размера куска и удельного расхода ВВ, были выполнены расчеты поправочного коэффициента. Результаты приведены в таблицу 3.

Таблица 2

Результаты расчета эффективности БВР

Кесте 2

Жарылыс жұмыстарының тиімділігін есептеу нәтижелері

Table 2

Results of blasting and drilling operations efficiency calculations

Блок	Кол. скв.	Глубина скв., м	Сетка скважин	Отказные заряды	Прострелы	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Эффективность БВР, %	Ср. размер куска, мм	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³
02-05-24	14	6.4	7 x 6	-	-	0,28	100	137,99	0,39
01-05-24	27	7.8	7 x 6	-	-	0,29	100	108,02	0,186
03-05-24	23	5	7 x 6	-	-	0,28	100	155,89	0,466
05-08-24	48	8.5	7 x 7	4	3	0,30	89,58	274,18	0,53
06-08-24	5	5.8	7 x 7	-	-	0,34	100	239,88	0,35
01-09-24	90	7.4	7 x 6	-	4	0,34	97,7	145	0,20
02-09-24	57	8.3	7 x 6	-	2	0,36	98,24	112,69	0,19
03-09-24	99	10.3	7 x 7	6	-	0,37	93,9	285,29	0,53
05-09-24	45	10	7 x 7	4	-	0,35	91,1	182,44	0,19
04-09-24	55	8.2	7 x 6	-	1	0,30	99,09	207,72	0,57

$$d_{\text{ср}} = \frac{(0,15 \times (\rho_{\text{п}} \times f \times d_3)0,33 \times d_{\text{отд}}}{q \times e_{\text{ВВ}}}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – плотность породы, т/м³;

d_3 – диаметр заряда, м;

f – коэффициент крепости по шкале М.М. Протождяконова;

$d_{\text{отд}}$ – диаметр естественной отдельности в массе, м;

q – удельный расход ВВ, кг/м³;

$e_{\text{ВВ}}$ – переводной коэффициент как отношение теплоты взрыва эталонного к применяемому ВВ.

На диаграмме (рис. 11) приведены значения среднего размера куска при взрывных работах на угольных блоках. Замечается разница в 28 мм при удельном расходе 0,29 кг/м³. Крайний столбец при 0,35 кг/м³ имеет значения

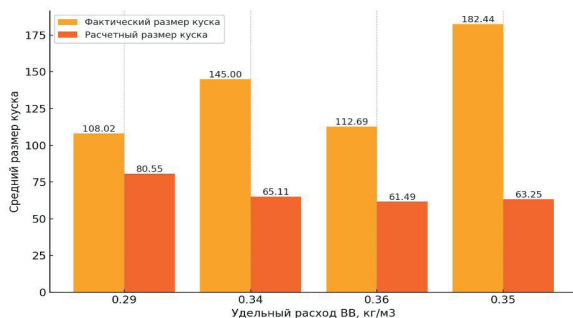


Рис. 11. Сравнение среднего размера куска фактического и расчетного по угольным блокам.

Сурет 11. Нақты және есептік көмір блоктары бойынша орташа кесек мөлшерін салыстыру.

Figure 11. Comparison of actual and calculated average lump size for coal blocks.

182,44 мм по фактическому размеру и 63,25 мм по расчетному размеру куска, при взрыве блока 05-09-24 были зафиксированы «отказы».

На рисунке 12 замечаются приближенные значения среднего размера куска при удельном расходе 0,28 кг/м³, что свидетельствует о корректности расчетов. В то же время наблюдается разница среднего размера куска, равная 100–120 мм при удельном расходе от 0,3–0,37 кг/м³. Это может быть связано с неоднородностью взрываеваемого массива.

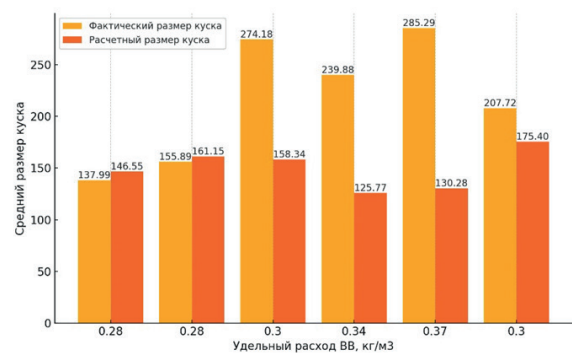


Рис. 12. Сравнение среднего размера куска фактического и расчетного по породным блокам.

Сурет 12. Нақты және есептік бос жыныстар блоктары бойынша орташа кесек мөлшерін салыстыру.

Figure 12. Comparison of actual and calculated average fragment size for rock blocks.

На основе данных расчетов рекомендуется принимать поправочный коэффициент при определении удельного

Таблица 3

Скорректированный расчет удельного расхода ВВ

Кесте 3

Жарылғыш заттардың меншікті шығынының түзетілген есебі

Table 3

Corrected calculation of specific explosive consumption

Блок	Проектный q , кг/м ³	Ср. размер куска, мм	Поправ. коэфф. по Кутузову	Поправ. коэфф. по KUZ-RAM
02-05-24	0,28	137,99	1,392	0,941
01-05-24	0,29	108,02	0,641	1,341
03-05-24	0,28	155,89	1,664	0,967
05-08-24	0,30	274,18	1,766	1,731
06-08-24	0,34	239,88	1,029	1,907
01-09-24	0,34	145	0,588	2,226
02-09-24	0,36	112,69	0,527	1,832
03-09-24	0,37	285,29	1,432	2,189
05-09-24	0,35	182,44	0,542	2,884
04-09-24	0,30	207,72	1,9	1,184

расхода ВВ для опытных взрывов для породных блоков по модели KUZ-RAM, а для угольных блоков по модели Кутузова. Рекомендуется проведение буровзрывных работ с дальнейшей корректировкой поправочного коэффициента.

Выводы

В рамках исследований для достижения оптимальной кусковатости взорванной горной массы в условиях месторождения Жалын был проведен комплексный анализ горно-геологических условий, мониторинг буровзрывных работ и разработаны рекомендации по их оптимизации. Основные выводы исследования:

1) проведенный сейсмический мониторинг показал, что пиковые значения скорости колебаний частиц (PPV) наблюдаются на малых расстояниях от эпицентра взрыва до 100 м. На расстояниях свыше 200 м значения PPV стабилизировались на уровне < 10 мм/с, что соответствует требованиям безопасности;

2) анализ с использованием ПО WipFrag выявил зависимость среднего размера фрагментов от удельного расхода ВВ, глубины скважин и сетки бурения. Меньшие размеры фрагментов (до 137,99 мм) наблюдались для блоков с более высокой плотностью зарядов (удельный расход 0,25–0,26 кг/м³) и плотной сеткой бурения (7 × 6 м). Для крупных блоков (например, № 8, объем 45621 м³) наблюдались более крупные фрагменты (до 285,29 мм) и значительный выход некондиционных кусков (> 500 мм) в объеме 22,37%;

3) установлено, что достижение оптимальной кусковатости угля в диапазоне 108–274 мм обеспечивается при удельном расходе взрывчатого вещества 0,23–0,25 кг/м³, применении сетки бурения 7 × 6 м без выхода негабаритных фракций;

4) на основе выполненных расчетов рекомендуется использование поправочного коэффициента для удельного расхода взрывчатого вещества при проектировании и выполнении буровзрывных работ. Для определения поправочного коэффициента на породных блоках рекомендуется применять модель KUZ-RAM. Для угольных блоков предлагается использовать модель Кутузова. Расчеты по модели Кутузова могут снизить удельный расход ВВ, что приведет к экономии, так как имеется запас по размеру кусков;

5) результаты исследования позволяют выработать рекомендации по оптимизации параметров буровзрывных работ для обеспечения требуемой granulometрии взорванной массы и минимизации негативного сейсмического воздействия.

Благодарность

Исследование проводилось в рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по договору № 12-САЕ-23 по теме «Повышение качества буровзрывных работ для достижения оптимальной кусковатости взорванной горной массы в условиях месторождения Жалын, заключенного между ТОО «Сарыарка-ENERGY» и ТОО «Mining Research Group».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение эффективности разрушения горных пород с использованием предварительного ослабления горного массива / Абен Е.Х. [и др.] // Eurasian Mining. 2023. № 2 (40). С. 62–65 (на английском языке)
2. Черских О.И., Галимянов А.А., Гевало К.В. Повышение эффективности буровзрывных работ на угольном разрезе «Солнцевский» // Уголь. 2022. № 7. С. 45–52 (на английском языке)

3. Галимянов И.А., Соболев А.А. Влияние глубины добычи угля на эффективность буровзрывных работ на месторождении Уралуголь // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12–1. С. 69–75 (на английском языке)
4. Оценка наведенных вибраций, полученных из суперпозиции волн при взрывах с замедлением / Гоу Ю. [и др.] // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2021. № 144. С. 104814 (на английском языке)
5. Ишейский В., Маринин М., Должиков В. Комбинирование зон растрескивания после взрывания колонковых зарядов при разрушении горных пород // Международный журнал инженерных исследований и технологий. 2019. № 12 (12). С. 2953–2956 (на английском языке)
6. Отчет Гапеевской ГРЭ о детальной разведке месторождения Жалын за 1991–1993 гг. / Министерство геологии и охраны недр Республики Казахстан, Караганда, 1993. С. 1–3 (на русском языке)
7. СН РК 2.03-28-2004 «Шкала оценки интенсивности землетрясений MSK-64 (К)» (на русском языке)
8. Оценка и оптимизация подходов к взрывному делу для уменьшения негабаритных валунов и выступов в карьерах / Чжэндун Лэн [и др.] // Международный журнал горной науки и техники. 2020. № 30. С. 373–380 (на английском языке)
9. Курузов Б.Н. Справочник взрывника: М.: Недра, 1988. 511 с. (на русском языке)
10. Каннингем К.В.Б. Модель фрагментации Kuz-Rat – 20 лет спустя // Сборник трудов конференции Европейской федерации инженеров-взрывников, Брайтон: Брайтон, 2005. С. 201–210 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тау жыныстарын алдын ала әлсіретуді қолдана отырып, оларды бұзу тиімділігін арттыру / Абен Е.Х. [және т. б.] // Еуразиялық тау-кен өнеркәсібі. 2023. № 2 (40). Б. 62–65 (ағылшын тілінде)
2. Черских О.И., Галимянов А.А., Гевало К.В. «Солнцевский» көмір разрезіндегі бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігін арттыру // Көмір. 2022. № 7. Б. 45–52 (ағылшын тілінде)
3. Галимянов И.А., Соболев А.А. Көмір өндіру тереңдігінің Уралуголь кен орнындағы бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігіне әсері // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2021. № 12–1. Б. 69–75 (ағылшын тілінде)
4. Баяулатқыш жарылыстар кезіндегі толқындардың суперпозициясынан алынған индукцияланған дірілдерді бағалау / Гоу Ю. [және т. б.] // Тау жыныстарының механикасы және тау-кен ғылымдары халықаралық журналы. 2021. № 144. Б. 104814 (ағылшын тілінде)
5. Ишейский В., Маринин М., Должиков В. Тау жыныстарын бұзу кезінде ұңғымалық зарядтарды жарудан кейінгі жарылу аймақтарын біріктіру // Инженерлік зерттеулер мен технологиялар халықаралық журналы. 2019. № 12 (12). Б. 2953–2956 (ағылшын тілінде)
6. Гапеев ГРЭ-нің 1991–1993 жж. Жалын кен орнын егжей-тегжейлі барлау туралы есебі / Қазақстан Республикасының Геология және жер қойнауын қорғау министрлігі, Қарағанды, 1993. Б. 1–3 (орыс тілінде)
7. ҚР ҚН 2.03-28-2004 «Жер сілкінісінің қарқындылығын бағалау шкаласы MSK-64 (К)» (орыс тілінде)
8. Карьерлердегі үлкен кесектер мен шошақтарды азайту үшін жару тәсілдерін бағалау және оңтайландыру / Чжэндун Лэн [және т. б.] // Тау-кен ғылымы мен техникасының халықаралық журналы. 2020. № 30. Б. 373–380 (ағылшын тілінде)
9. Курузов Б.Н. Жарылғыш анықтамалық: М.: Недра, 1988. 511 б. (орыс тілінде)
10. Каннингем К.В.Б. Kuz-Rat фрагментация моделі – 20 жылдан кейін // Еуропалық жару инженерлері федерациясы конференциясының жинағы, Брайтон: Брайтон, 2005. Б. 201–210 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Improving Efficiency of Rock Breaking Using Pre-Weakening of Rock Mass / Aben E.Kh. [et al.] // Eurasian Mining. 2023. No. 2 (40). 62–65 pp. (in English)
2. Cherskiikh O.I., Galimyanov A.A., Gevalo K.V. Enhancing Drilling and Blasting Operations at the Solntsevo Coal Strip Mine // Coal. 2022. No. 7. 45–52 pp. (in English)
3. Galimyanov I.A., Sobolev A.A. Influence of Coal Mining Depth on the Efficiency of Drilling and Blasting Operations at the Uralugol' Deposit // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2021. No. 12–1. 69–75 pp. (in English)
4. Assessment of induced vibrations obtained from superposition of waves in delayed blasts / Gou Y. [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. No. 144. 104814 pp. (in English)
5. Isheyskiy V., Marinin M., Dolzhikov V. Combination of cracking zones after blasting of core charges in rock breaking // International Journal of Engineering Research & Technology. 2019. No. 12 (12). 2953–2956 pp. (in English)
6. Otchet Gapeevskoi GRE o detal'noi razvedke mestorozhdeniya Zhalyn za 1991–1993 gg. [Report of the Gapeevskaya Geological Exploration Expedition on the detailed exploration of the Zhalyn deposit for 1991–1993], Ministerstvo geologii i okhrany nedr Respubliki Kazakhstan, Karaganda [Ministry of Geology and Subsoil Protection of the Republic of Kazakhstan, Karaganda]. 1993, 1–3 pp. (in Russian)

7. SN RK 2.03-28-2004 «Shkala otsenki intensivnosti zemletryaseni MSK-64 (K)» [SN RK 2.03-28-2004 «Scale for assessing the intensity of earthquakes MSK-64 (K)»] (in Russian)
8. Evaluation and optimization of blasting approaches for reducing oversize boulders and ledges in open-pit mines / Zhengdong Leng [et al.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. No. 30. 373–380 pp. (in English)
9. Kutuzov B.N. Spravochnik vzryvnika [Blaster's Handbook]. Moscow: Nedra, 1988, 511 p. (in Russian)
10. Cunningham C.V.B. The Kuz-Ram Fragmentation Model – 20 Years On. Proceedings of the European Federation of Explosives Engineers Conference, Brighton: Brighton, 2005. 201–210 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Бахтыбаев Н.Б., к.т.н, директор ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан), bakhtybayev@minrg.com; <http://orcid.org/0000-0002-9816-9765>

Абил О.А., заместитель директора, ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан), orazabil@minrg.com; <https://orcid.org/0000-0001-9939-9039>

Атагелдиев К.Т., докторант, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), kobeyatageldiyev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1902-0170>

Нурбобоев Е.Т., доцент кафедры «Горное дело и технологии», Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), yorqin210@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0321-2792>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бахтыбаев Н.Б., т.ғ.к., «Mining Research Group» ЖШС директоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Әбил О.А., «Mining Research Group» ЖШС директоры орынбасары (Қарағанды қ., Қазақстан)

Атагелдиев К.Т., докторант, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Нурбобоев Е.Т., «Тау-кен ісі және технологиялар» кафедрасының доценті, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті (Ташкент қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Bakhtybayev N.B., candidate of Technical Sciences, director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Abil O.A., associate Director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Atageldiyev K.T., PhD student, non-profit JSC «Karaganda Technical University named by Abylqas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Nurboev E.T., Associate Professor of the Department of Mining and Technology, Islam Karimov Tashkent State Technical University (Tashkent, Uzbekistan)



СПТО КРАНЫ
WWW.CRANE-EXPO.RU

17-19 июня 2026

г. Москва, ВДНХ,
57 павильон

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТО КРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ЭКСПО ДИЗАЙН
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ