

**Ю.А. Лысак, А.Ю. Плотников, Е.Б. Шевкун,
А.В. Лещинский**

ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Приведены результаты экспериментальных массовых взрывов с увеличенными интервалами замедлений. Установлено, что ведение взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием позволяет осуществить изменение замедления между смежными скважинами соседних рядов в большом диапазоне одной стандартной ступенью замедления, выбирая ее величину такой, чтобы она была больше величины возможного разброса срабатывания замедлителей как поверхностных, так и скважинных. Это позволит еще больше увеличить удельные интервалы замедления и существенно снизить сейсмическое воздействие взрыва на охраняемый объект за счет последовательного взрывания каждого заряда именно на обнаженную поверхность, а не на трещины.

Ключевые слова: заряды, массовый взрыв, удельные интервалы замедления, качество дробления пород.

Известно, что, как с точки зрения дробления, так и минимального воздействия на законтурный массив при взрывании на подобранный забой более предпочтительными являются диагональные схемы многорядного короткозамедленного взрывания (МКЗВ) с развитием взрыва с торца блока. Инструментальные наблюдения за сейсмическим действием взрывов показали, что уровень сейсмических колебаний на близлежащих верхних уступах и в законтурном массиве при диагональных схемах взрывания в 1,5–2,5 раза ниже, чем при клиновых. При этом уменьшается и зона проявления остаточных деформаций, а, следовательно, обеспечивается и лучшая сохранность законтурного массива [1].

В работе [2] были опробованы две схемы взрывания: диагональная и последовательная (одна скважина — одно замедление), а также три группы замедлений: 42, 67; 150, 200 и 200, 400 мс. При использовании замедлений 42 и 67 мс имели место взрывы одновременно двух-трех скважин из-за разброса замедлений, связанного с неточностью системы. Особенность больших замедлений

(200, 400 мс), заключается в том, что за это время трещины успевают раскрыться до состояния свободной поверхности, что снижает степень зажатости скважин, а это, в свою очередь, снижает сейсмический эффект. Однако использование подобных замедлений сопряжено со сложностью монтажа и дополнительными затратами, так как замедление в 400 мс получают путем соединения двух волноводов с замедлениями по 200 мс. Также весомым недостатком таких замедлений является их кратность, например, на блоке из десяти рядов, в каждом из которых по пять скважин, имеет место взрыв пяти скважин одновременно, расстояние между которыми 9 м.

Ведение взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием позволяет осуществить изменение замедления между смежными скважинами соседних рядов в большом диапазоне одной стандартной ступенью замедления, выбирая ее величину такой, чтобы она была больше величины возможного разброса срабатывания замедлителей как поверхностных, так и скважинных. Это позволит еще больше увеличить удельные интервалы замедления и существенно снизить сейсмическое воздействие взрыва на охраняемый объект за счет последовательного взрывания каждого заряда именно на обнаженную поверхность, а не на трещины.

При необходимости после обурирования взрываемый блок разделяют на участки с количеством скважин в ряду, обеспечивающим заданную величину удельных интервалов замедления между смежными скважинами соседних рядов для конкретных задач — снижения сейсмического воздействия, изменение направления перемещения горной массы, качества дробления и т.п. После этого производят зарядку взрывных скважин с установкой боевиков со скважинными замедлителями неэлектрической или электронной системы инициирования. Внутрискважинные замедлители НСИ подбирают, исходя из условия опережения поверхностной сети до безопасного расстояния, исключающего разрушение ее кусками горной массы. Например, ИСКРА-Т позволяет осуществлять внутрискважинное замедление до 2000 мс, RIONEL LP — до 9000 мс, а Коршун — до 10 000 мс. Затем проводят монтаж поверхностной сети НСИ (настройку электронной системы), с помощью которой будет осуществлено инициирование «нулевой» скважины каждого участка с заданным замедлением друг относительно друга и последовательная передача иницирующего импульса от «нулевой» скважины, расположенной в начале или в середине первого ряда конкретного участ-

ка, к каждому заряду этого ряда скважин с заданным удельным замедлением. После срабатывания замедлителя поверхностной сети на последней скважине первого ряда инициирование переводится на следующий ряд и направление поскважинного инициирования этого ряда становится встречным относительно предыдущего ряда. И вот с этого момента блок начинает взрываться в ином режиме: короткозамедленное взрывание (короткозамедленным взрывание считается при замедлениях до 500 мс [3, с. 71]) выходит в режим замедленного взрывания.

Исследованиями [4] установлено, что при данном количестве ВВ сдвигение отделенной взрывом части массива начинается через определенный промежуток времени, который прямо пропорционален толщине слоя пород и в несколько раз больше времени, необходимого для того, чтобы взрывная волна достигла свободной поверхности и вызвала разрушение породы действием отраженной волны. При достижении фронтом ударной волны свободной поверхности, т.е. границы между воздухом и породой, волна сжатия отражается обратно в породу в виде волны растяжения. В определенный момент в точке массива, находящейся вблизи от свободной поверхности, порода одновременно испытывает воздействие двух волн — части прямой волны сжатия, смещающей породу в сторону свободной поверхности, и отраженной волны растяжения, которая стремится переместить частицы породы назад, в сторону зарядной полости. Если в результате наложения этих двух волн суммарное напряжение еще достаточно велико, порода разрушается. Остающаяся часть волны сжатия отражается от новой свободной поверхности опять в виде волны растяжения, и такой процесс может повторяться несколько раз, сопровождаясь давлением расширяющихся горячих газов взрыва, которые совершают работу: проникают в трещины, расширяют их и, увеличивая степень дробления породы, смещают ее в сторону свободной поверхности. При этом установлено [5], что начало подвижки массива горных пород, т.е. фактическое образование свободной поверхности для взрыва следующего заряда, находится в пределах 160–200 мс от начала детонации заряда ВВ в скважине, а наши наблюдения за развитием экспериментальных массовых взрывов показали, горная масса при мгновенном взрывании ряда скважин обрушается на подошву уступа в интервале от 1120 до 2400 мс [6].

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим развитие взрыва на блоке при ведении взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием сравнением схем взрывания,

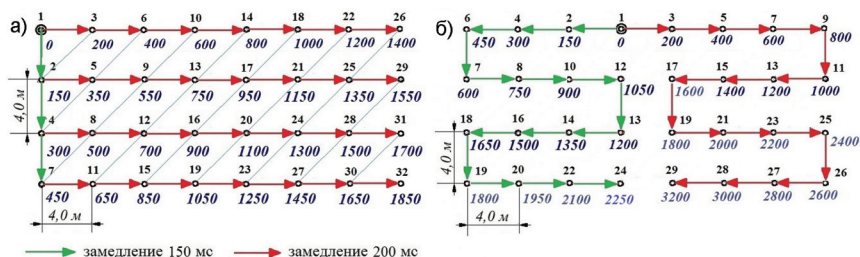


Рис. 1. Схемы взрывания блоков: диагональная (а) и последовательно-встречная (б)

приведенных на рис. 1, где цифра над скважиной означает последовательность взрывания.

Схема инициирования, приведенная в работе [2] (рис. 1, а), имеет постоянный удельный интервал замедления 50 мс/м в ряду скважин и 37 мс/м между рядами. Самая сильная сейсмическая волна в сторону охраняемого объекта направляется при взрыве скважины инициирования 1, взрывающей в зажиме.

Через 150 мс (37 мс/м) после инициирования первой скважины первого ряда срабатывает скважина 2 второго ряда на поверхность трещин, раскрытых взрывом скважины 1. От взрыва скважины 2 во втором ряду уходит сейсмическая волна, ослабленная на 85–90% [7] экраном горной массы, взорванной скважиной 1 первого ряда. Через 50 мс (12 мс/м) срабатывает скважина 3 в первом ряду и в сторону охраняемого объекта уходит частично ослабленная сейсмическая волна, поскольку скважина срабатывает на свободную поверхность после начала смещения породы в районе скважины 1. При взрыве скважины 4 в третьем ряду через 50 мс практически вся сейсмическая волна поглощается экраном взорванной горной массы скважин 1 и 3 первого ряда и скважины 2 второго ряда. Таким образом, формируется диагональная схема взрывания с интервалом срабатывания между рядами скважин от 50 мс (12 мс/м) до 150 мс (37 мс/м) с общим временем развития взрыва 32 скважинных зарядов в течение 1850 мс.

Схема взрывания при ведении взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием (рис. 1, б) сохраняет постоянный удельный интервал замедления в рядах скважин (37 мс/м для левой части и 50 мс/м для правой). Между рядами скважин удельный интервал замедления между скважинами в ряду сохраняется только при переводе инициирования на следующий ряд. Уже на следующей скважине второго ряда

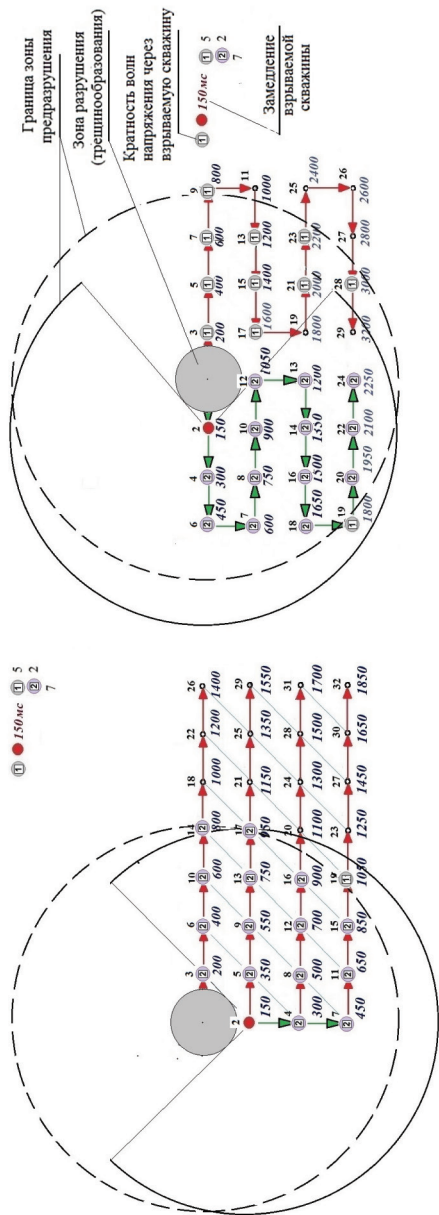


Рис. 2. Размер зон предразрушения при взрыве второй скважины

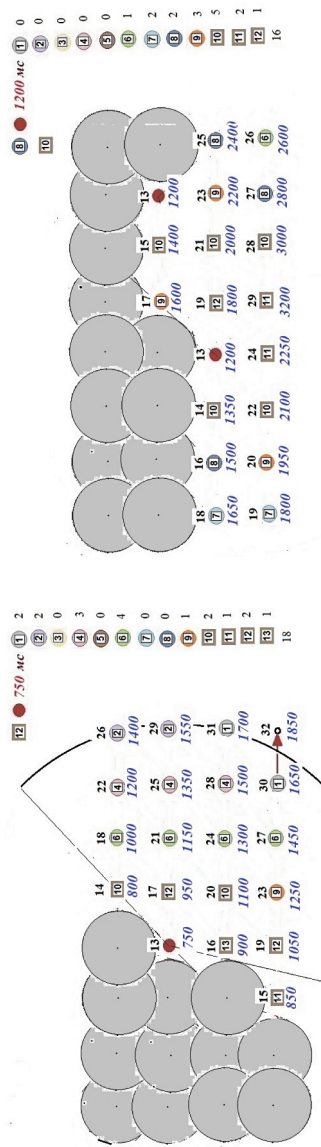


Рис. 3. Кратность воздействия волн напряжений в массиве горных пород

иницирование направлено встречно первому ряду, а интервал замедления между скважинами 8 и 4 левой части возрастает до 450 мс (113 мс/м), между скважинами 10 и 2 до 750 мс (187 мс/м), а между скважинами 12 и 1 — до 1050 мс (263 мс/м). В правой части схемы между скважинами 13 и 7 замедление возрастает до 600 мс (150 мс/м), между скважинами 15 и 5 — до 1000 мс (250 мс/м) и между скважинами 17 и 3 — до 1800 мс/м (450 мс/м).

Такая же картина развития взрыва сохраняется и на последующих рядах скважин.

В работе [8] показано, что волна напряжения за 30 мс проходит расстояние около 50 м, следовательно, скорость волны напряжения составит около 1670 м/с, а скорость роста трещин — около 660 м/с. В аналогичных породах можно принять такие же скоростные параметры развития взрыва. Радиус зоны трещинообразования может достичь величины в 20–40 R_z [9], а радиус зоны предразрушения, который по различным оценкам достигает от 60 до 250 радиусов заряда [10,11]. Учитывая минимальные заряды при сейсмобезопасном взрывании, принимаем для ориентировочного расчета величину зоны трещинообразования 20 R_z — до 5 м, а зоны предразрушения — 150 R_z — 2 м (рис. 2).

Самая сильная сейсмическая волна в сторону охраняемого объекта направляется при взрыве скважины инициирования 1, взрывающей в зажиме. Через 150 мс (37 мс/м) срабатывает заряд скважины 2 на свободную поверхность в направлении скважины 1 после начала подвижки массива от ее взрыва. При этом в сторону охраняемого объекта уходит сейсмическая волна, ослабленная разрушенной породой скважины 1. В таком режиме процесс развития взрыва продолжается до конца первого ряда. При взрыве скважин 7 и 11 во втором ряду последовательно встречной схемы сейсмическая волна практически полностью поглощается экраном горной массы, взорванной скважинами первого ряда.

При взрыве заряда скважины 11 сейсмическая энергия практически полностью поглощается экраном из взорванной горной массы скважин 1–9, кроме того, действие этого заряда на массив горных пород происходит в существенно измененных условиях. Порода в районе этой скважины уже испытала десятикратное (рис. 3) ослабляющее воздействие волн сжатия-растяжения от взрыва зарядов скважин 1–9, причем со стороны скважины 11 волны сжатия-растяжения уже воздействуют в обратном направлении.

Кроме того, со стороны скважины 9 возникла новая свободная поверхность в виде раскрытых трещин, а со стороны скважины 7 за 600 мс уже возникла обнаженная поверхность из-за начала отброса горной массы от массива. Поэтому использование энергии взрыва заряда скважины 11 на дробление увеличивается как за счет многократного ослабления массива горных пород волнами напряжения, так и за счет возникновения новых дополнительных поверхностей обнажения. Начиная со скважины 11, перед вторым рядом частично, а со скважины 13 уже полностью обнажен откос уступа, горная масса отброшена, и массив существенно ослаблен многократным воздействием волн напряжения с противоположным направлением воздействия. Такая картина развития взрыва продолжается до последнего ряда этого участка взрываемого блока. При этом общее время развития взрыва 32 скважинных зарядов составит уже 6050 мс.

Сравнение способа ведения взрывных работ с сети с последовательной передачей инициирующего импульса по рядам и между рядами скважинных зарядов с замедлителями 200 и 150 мс и последовательно-встречного поскважинного взрывания с такими же замедлителями при тех же параметрах расположения скважин, показывает преимущества последнего:

- максимальное замедление между рядами скважин увеличивается на порядок — с 37 мс/м до 450 мс/м;
- общая длительность взрыва 32 скважинных зарядов увеличивается более чем втрое — с 1850 мс до 6050 мс (во столько же раз увеличивается время воздействия взрыва на массив горных пород);
- 21 взрывная скважина из 32 (65%) производит отбойку пород на обнаженный откос уступа, а не на свободную поверхность раскрытых трещин;
- половина волн напряжения от взрыва зарядов действуют на массив горных пород в противоположных направлениях.

Каждый отдельный участок взрываемого блока может быть инициирован с заданным замедлением первой скважины относительно других участков этого блока, а инициирование каждого следующего ряда скважин и/или последовательная передача по нему инициирующего импульса от заряда к заряду могут быть выполнены с различными удельными импульсами замедления.

Введение взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием с большими интервалами замедления прошло апробацию на карьерах с различными горными породами и подтвердило высокую эффективность.

Так, 23.07.15 в 12 ч 28 ми. был проведен массовый взрыв блока № 14В/3 с 22 скважинами диаметром 215 мм и глубиной 5,5 м на расстоянии от границы взрываемого блока до охраняемого объекта 80 м. Схема монтажа взрывной сети диагональная с интервалом замедления 200 и 400 мс. Общее количество ВВ составило 456,5 кг ($Q_{\text{СКВ}} = 20,75$ кг), сетка расположения скважин — 4,0×4,0 м.

Замер скорости смещения грунта проводился сейсмографом Mini-Seis 8G 1Hz согласно ГОСТ Р 52892-2007 (Национальный Стандарт Российской Федерации. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию). Vector Sum (наивысшая суммарная векторная величина сейсмических колебаний) составил 6,253 мм/с, что превышает установленные ГОСТом сейсмические воздействия (5,0 мм/с) для многоэтажных зданий и сооружений.

23.07.15 в 12 ч 30 мин проведен массовый взрыв блока № 14В/4 с 22 скважинами диаметром 215 мм и глубиной 5,5 м на расстоянии от границы взрываемого блока до охраняемого объекта 80 м. Схема монтажа взрывной сети последовательно-встречная с интервалом замедления 200 мс. Общее количество ВВ составило 456,5 кг ($Q_{\text{СКВ}} = 20,75$ кг), сетка расположения скважин — 4,0×4,0 м.

Замер скорости смещения грунта тем же сейсмографом Mini-Seis 8G 1Hz показал величину Vector Sum — 4,348 мм/с, что не превышает установленных ГОСТом сейсмических воздействий (5,0 мм/с) для многоэтажных зданий и сооружений.

Таким образом, ведение взрывных работ последовательно-встречным поскважинным взрыванием позволяет снизить сейсмическое действие взрыва и повысить использование энергии взрыва на дробление за счет многократного знакопеременного воздействия волн напряжений и увеличения времени воздействия взрыва на массив горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев С. А., Соколов А. В., Доильницын В. М. Повышение эффективности скважинной отбойки на рудниках Хибин при использовании систем неэлектрического инициирования зарядов / Физические проблемы разрушения горных пород. Сборник труда Четвертой международной научной конференции, 18–22 октября 2004 г. — М., 2005. — С. 370–376.
2. Микулич Д. А., Лушпей В. П. Опыт проведения взрывных работ на золоторудном карьере вблизи комплекса автоклавного выщелачивания // Информационный бюллетень НОИВ. — 2015. — № 2. — С. 27–30.
3. Кутузов Б. Н. и др. Справочник взрывника. — М.: Недра, 1988. — 511 с.

4. *Noren C. H.* Blasting Experiments in Granite Rock Quart / Colo Schoot Mines 51, 212–225 (1956).

5. *Дон Лит Л.* Сейсмическое действие взрыва. — М.: Госгортехиздат, 1963. — 88 с.

6. *Шевкун Е. Б., Лещинский А. В., Галимьянов А. А., Рудницкий К. А.* Особенности производственных испытаний комбинированных забоев взрывных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 97–107.

7. *Мосинец В. Н.* Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976. — 271 с.

8. *Митюшкин Ю. А. и др.* Оптимизация параметров взрывных работ увеличением интервалов замедления // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 4. — С. 341–348.

9. *Юровских А. В.* Разработка модели разрушения горных пород на квазистатической стадии действия взрыва : Дис. ... канд. техн. наук : 25.00.20. — СПб., 2003. — 119 с.

10. *Кочанов А. Н.* К вопросу о выборе интервалов замедления при короткозамедленном взрывании / Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. тр. Третьей международной научной конференции, 9–14 сентября 2002 г. Новосибирск. — Новосибирск, 2003. — С. 162–164.

11. *Викторов С. Д., Кочанов А. Н., Одицев В. И.* Предразрушение горных пород как стадия процесса разрушения при квазистатическом и динамическом нагружении / Записки Горного института. Т. 171. — СПб.: СПГИ(ТУ), 2007. — С. 153–157. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Лысак Юрий Алексеевич*¹ — генеральный директор,
e-mail: Rujitskiy@pokrmine.ru,

*Плотников Андрей Юрьевич*¹ — заместитель главного инженера,

*Шевкун Евгений Борисович*² — доктор технических наук,
профессор, e-mail: ev.shevkun@yandex.ru,

*Лещинский Александр Валентинович*² — доктор технических наук,
доцент, профессор, e-mail: 000399@pnu.edu.ru,

¹ ООО «АВТ-Амур»,

² Тихоокеанский государственный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 283–292.

UDC 622.235

Yu.A. Lysak, A.Yu. Plotnikov, E.B. Shevkun, A.V. Leshchinskiy **ENHANCEMENT OF SEISMIC SAFETY** **UNDER BLASTING**

The results of experimental explosions with the increased intervals slowdowns. It is established that the blasting operations in sequence-a counter through each well by blasting allows for a change in deceleration between adjacent wells of adjacent rows in a large range of one standard stage of deceleration, choosing its value such that it was more the magnitude of possible variation of the operation of the retarders of both surface and downhole. This will

further increase the unit intervals of delay and to significantly reduce the seismic effects of the explosion on the protected object due to the sequential detonation of each charge it is on bare ground, not on crack.

Introduction blasting in sequence-a counter through each well by blasting with large intervals of delay been tested for open cast mining with various rocks and allows to reduce the seismic effects of the explosion, increase the use of explosive energy for fragmentation due to multiple alternating effects of stress waves and increasing the exposure time of the explosion on the rock mass.

Key words: charges, production blast, specific delay intervals, rock fragmentation qualities.

AUTHORS

Lysak Yu.A.¹, General Director, e-mail: Rujitskiy@pokrmine.ru,

Plotnikov A.Yu.¹, Deputy Chief Engineer,

Shevkun E.B.², Doctor of Technical Sciences,

Professor, e-mail: ev.shevkun@yandex.ru,

Leshchinskiy A.V.², Doctor of Technical Sciences,

Assistant Professor, Professor, e-mail: 000399@pnu.edu.ru,

¹ OOO «AVT-Amur», 675000, Blagoveshchensk, Russia,

² Pacific National University,
680035, Khabarovsk, Russia.

REFERENCES

1. Kozyrev S.A., Sokolov A.V., Doil'nitsyn V.M. *Fizicheskie problemy razrusheniya gornykh porod: sbornik trudov Chetvertoi mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, 18–22 oktyabrya 2004 g. (Physical problems of destruction of rocks: the collection of works: The fourth international scientific conference, on October, 18–22th, 2004), Moscow, 2005, pp. 370–376.
2. Mikulich D.A., Lushpey V.P. *Informatsionnyy byulleten' NOIV*. 2015, no 2, pp. 27–30.
3. Kutuzov B.N. *Spravochnik vzryvnika* (The directory of explosioner), Moscow, Nedra, 1988, 511 p.
4. Noren C.H. *Blasting Experiments in Granite Rock Quart*. Colo Schoot Mines 51, 212–225 (1956).
5. Don Lit L. *Seismicheskoe deystvie vzryva* (Seismic action of explosion), Moscow, Gosortekhzidat, 1963, 88 p.
6. Shevkun E. B., Leshchinskiy A. V., Galim'yanov A. A., Rudnitskiy K. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 97–107.
7. Mosinets V.N. *Drobyashchee i seismicheskoe deystvie vzryva v gornykh porodakh* (Splitting up and seismic action of explosion in rocks), Moscow, Nedra, 1976, 271 p.
8. Mityushkin Yu. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 4, pp. 341–348.
9. Yurovskikh A. V. *Razrabotka modeli razrusheniya gornykh porod na kvazistaticheskoy stadii deystviya vzryva* (Working out of model of destruction of rocks on квазистатической stages of action of explosion), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2003, 119 p.
10. Kochanov A.N. *Fizicheskie problemy razrusheniya gornykh porod: sbornik trudov Tre'tei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, 9–14 sentyabrya 2002 g. (Physical problems of destruction of rocks: the collection of works: The third international scientific conference, on September, 9–14th, 2002), Novosibirsk, 2003, pp. 162–164.
11. Viktorov S.D., Kochanov A.N., Odintsev V.I. *Zapiski Gornogo instituta*. T. 171 (Notes of the College of mines, vol. 171), Saint-Petersburg, SPGGI(TU), 2007, pp. 153–157.