

УДК 622.233/.235

Рожков Артем Андреевич
младший научный сотрудник
лаборатории подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: geotech@igduran.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОТБОЙКИ
КВАРЦА ПЛОСКОЙ СИСТЕМОЙ
ЗАРЯДОВ***

Аннотация:

Кыштымское месторождение высокоценного гранулированного кварца является единственным источником данного сырья для высокотехнологических отраслей экономики России. Применяемая технология ведения буровзрывных работ (БВР) трудоемка и не обеспечивает требуемых показателей по выходу переизмельченной фракции кварца. Следовательно, актуально совершенствование технологии и оптимизация параметров ведения БВР. На основании теоретических исследований предложена технология плоской отбойки вертикальными веерами скважин с использованием механизированной зарядки гранулированными ВВ и одновременным взрыванием всех зарядов в веере. Как показали теоретические исследования и полигонные эксперименты, можно добиться снижения степени переизмельчения кварца при отбойке за счет использования эффекта взаимодействия зарядов при их одновременном взрывании в веере скважин, результатом которого является образование общей полости взрыва без зон интенсивного дробления около каждого заряда. Определены параметры БВР для экспериментальных взрывов на опытном участке месторождения.

Ключевые слова: месторождение кварца, буровзрывные работы, механизированная зарядка, гранулированные ВВ, переизмельчение, экспериментальные исследования.

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.013

Rozhkov Artem A.
junior researcher of the laboratory
of underground geo-technology,
The Institute of Mining UB RAS,
620075 Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st..
e-mail: geotech@igduran.ru

**DEFINING THE PARAMETERS
OF QUARTZ RESOURCE SAVING
BLASTING BY FLAT CHARGE SYSTEM**

Abstract:

Kishtim deposit of high-valued granular quartz is the only source of raw material for high-technological sectors of Russian economy. The technology of conducting drilling and blasting operations is labor consuming and does not provide the required performance and over-grinding fractions of quartz on the exit. Consequently, the technology improvement and the parameters of drilling and blasting optimization is urgent. In terms of theoretical studies the technology of layer breaking by vertical fans wells using mechanized charging with granular explosives and simultaneous all charges in the fan blasting is proposed. As theoretical studies and polygon experiments have shown, the degree of reduction quartz over-grinding while can breaking can be attained at the expense of using the effect of charges interaction in their simultaneous blasting holes in the fan. Its result is common cavity explosion formation without over-grinding zones around each charge. The parameters of experimental drilling and blasting operations on the pilot section of the deposit are defined.

Key words: quartz deposit, drilling and blasting operations, mechanized charge, granulated explosives, over-grinding, experimental researches

Кыштымское месторождение является единственным в России эксплуатируемым месторождением высокоценного гранулированного кварца и источником сырья для инновационных отраслей российской промышленности [1]. Уникальность данного месторождения обусловлена высоким содержанием полезного компонента в рудном теле (до 98 %) и запасами, в разы превосходящими запасы других разведанных месторождений высокоценного кварца [2]. Одним из источников потерь ценного сырья является некондиционная фракция кварца (–20 мм), образующаяся в результате переизмельчения руды

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00. Тема № 0405-2015-0010. «Теоретические основы стратегии комплексного освоения месторождений и технологий их разработки с учетом особенностей переходных процессов в динамике развития горнотехнических систем»

при ее взрывной отбойке. Выход мелкой фракции составляет 16 – 20 % [3]. Таким образом, совершенствование технологии ведения буровзрывных работ (БВР) и установление параметров пространственного расположения скважин в отбиваемом массиве с целью уменьшения переизмельчения кварца является актуальной научно-технической задачей [4].

При новой проектируемой технологии отработки месторождения предусматривается массовая отбойка кварца вертикальными веерами скважин. Так как размеры камер в высоту и ширину увеличиваются до 20 – 26 м, соответственно, и длина скважин в веере достигает 22 – 24 м. Ручная зарядка скважин при этом трудноосуществима, вследствие чего предусматривается механизированная [5].

Исследования [6, 7] показывают, что при всех возможных параметрах расположения скважин в веере их следует рассматривать как плоскую систему зарядов (ПСЗ), т.е. систему удлиненных зарядов, расположенных в одной плоскости, взрываемых одновременно и взаимодействующих между собой.

Действие ПСЗ кардинально отличается от действия взрыва при короткозамедленном взрывании (КЗВ): в начальный период по плоскости расположения взаимодействующих зарядов прорастает магистральная трещина, вокруг которой не происходит интенсивного дробления [8].

После пробоя массива газовые полости отдельных зарядов объединяются, и отбиваемый слой находится под действием плоского поля напряжений сжатия. Отбиваемый слой целиком отделяется от основного массива [9]. Его дробление на отдельности происходит по естественным трещинам от удара при падении на почву камеры. Выход мелкой фракции в основном определяется интенсивностью удара о стенки камеры, дроблением кусков при падении и соударении. Степень воздействия этого удара определяется силой взрыва, т.е. удельным расходом ВВ. Следовательно, для снижения выхода мелочи следует стремиться к уменьшению удельного расхода ВВ.

Одним из критериев взаимодействия зарядов является эффект пробоя массива по плоскости их расположения. Минимальная предельная величина пробивного расстояния ($L_{пр}$) при взрыве скважин в массиве кварца рассчитана по методике [10] и представлена в виде зависимости от радиуса зарядов и скорости детонации граммонита 21 ТМЗ (рис. 1).

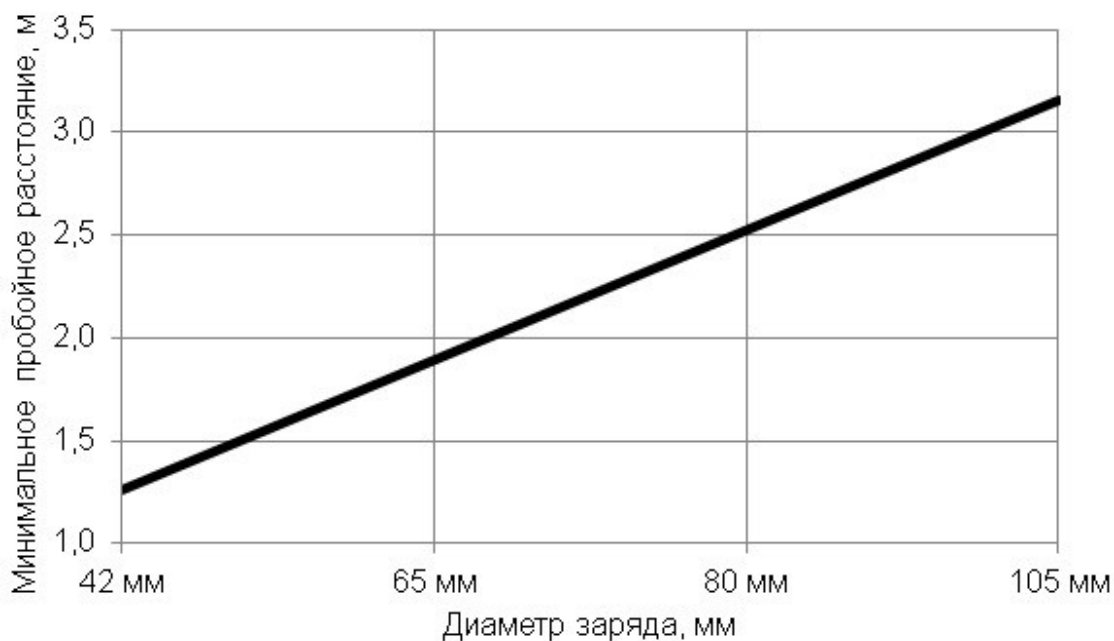


Рис. 1– Зависимость минимального пробойного расстояния между двумя зарядами от их диаметра

Максимальное пробойное расстояние может быть принято $L_{\max}=L_{\text{пр}}\sqrt{2}$ [10]. Тогда можно предположить, что при отбойке кварца ПСЗ опережающий рост магистральной трещины по плоскости расположения скважин происходит при всех применяемых на практике расстояниях между концами скважин и находится в интервале от 2,2 до 3,2 м при $\delta=0$.

Дальнейшее отделение отбиваемого слоя от массива определяется давлением продуктов детонации на стенки образовавшейся после пробоя по плоскости расположения скважин щелевидной полости. В общем случае давление на стенки полости взрыва рассчитывается по формуле [11]:

$$P_0 = 0,5\rho_{\text{ВВ}}D^2(i+1)^{-1}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где D – скорость детонации ВВ, м/с;

$\rho_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³;

i – показатель политропы газов взрыва.

В нашем случае характерной величиной является давление на стенки объединенной полости взрыва в зоне забоев скважин веера, поскольку именно там наибольшее расстояние между зарядами и, как следствие, наименьший удельный расход ВВ. Расчет данного параметра производится по формуле (2), учитывающей геометрические параметры веера, и представлен в виде графика на рис. 2:

$$P = P_0[n\pi r^2(n\pi r^2 + 2\Delta u B)^{-1}]^i, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где n – количество скважин в веере, шт.;

r – радиус зарядов, м;

Δu – смещение стенки щелевидной полости, м;

B – ширина веера, м.

Определение величины Δu или степени расширения образовавшейся в результате пробоя между скважинами трещины, обеспечивающей проникновение в трещину газов взрыва и выравнивание в ней давления, требует проведения специальных исследований. Вследствие этого для расчета принято допущение, что величина Δu равна 1 мм.

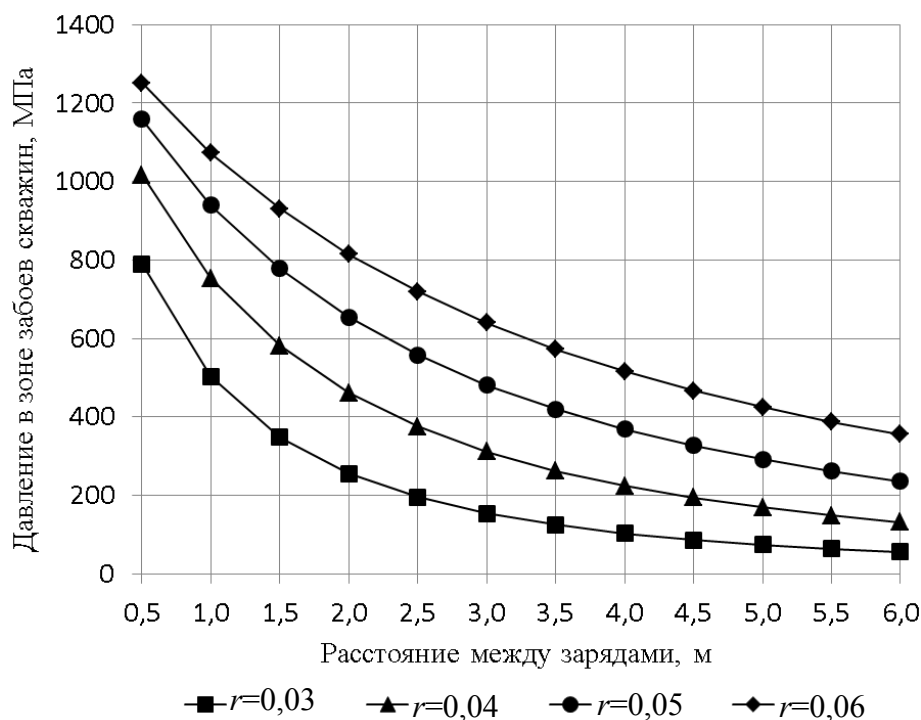


Рис. 2 – Зависимость давления скважин при взрыве веерных зарядов от радиуса скважин и расстояния между ними в зоне забоев

Очевидно, полный отрыв отбиваемого слоя произойдет при некотором минимально необходимом давлении (P_{\min}) на стенки общей полости взрыва. Для определения значения данной величины использована методика [12], а расчетная схема P_{\min} показана на рис. 3.

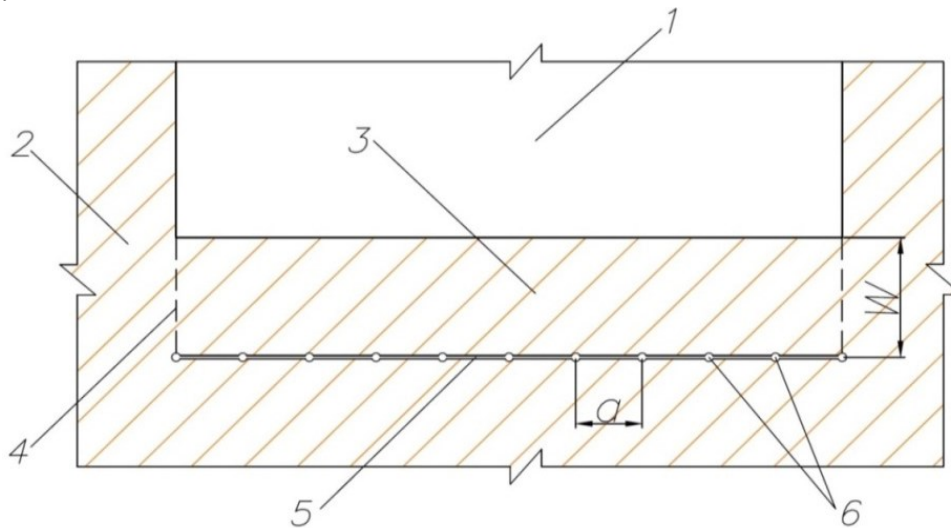


Рис. 3 – Схема к расчету минимально необходимого давления:
 1 – компенсационное пространство; 2 – массив кварца; 3 – отбиваемый слой руды;
 4 – проектная граница отбиваемого слоя; 5 – щелевидная полость, заполненная продуктами взрыва;
 6 – взрывные скважины

$$P_{\min} = |\sigma_{\text{сж}}| M_{\text{сж}} [(2\pi(1 - \alpha^2)\rho_{\text{ВВ}}W)((1 - \alpha^2)\rho_{\text{зар}}BF(t))^{-1}]^{0,5}, \text{ МПа}; \quad (3)$$

$$t = AB^{-1}; \quad (4)$$

$$M_{\text{сж}} = k^{-1} [1 + ((2\eta - 1)(1 - \alpha) + 2\alpha(1 + \alpha\eta))(2(1 - \alpha + \alpha^2)\sigma_{\text{сж}})^{-1}], \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – прочность кварца на сжатие, МПа. Для кварца Кыштымского месторождения изменяется в пределах 113 – 178 МПа;

$M_{\text{сж}}$ – коэффициент, учитывающий напряжения в точках, лежащих на проектных зонах разрушения;

α – коэффициент бокового распора;

$\rho_{\text{зар}}$ – плотность заряжения, кг/м³;

W – линия наименьшего сопротивления (ЛНС), м;

A – высота веера, м;

$F(t)$ – функция от соотношения высоты и ширины веера;

k – коэффициент, характеризующий наибольшую степень расхождения энергии взрыва в краевой части отбиваемого слоя в зависимости от параметров W и B , 0,71 – 0,9;

η – коэффициент, равный $\eta = (1 + \sin\varphi)(1 - \sin\varphi)^{-1}$;

φ – коэффициент внутреннего трения кварца.

В целях обеспечения надежности параметров БВР для натуральных испытаний, в расчете (3) принимается максимальное значение $\sigma_{\text{сж}}$ для кварца. Зависимость величины минимально необходимого давления на стенки полости взрыва от ЛНС при максимальном значении $\sigma_{\text{сж}}$ представлена на рис. 4.

Из зависимостей (2) и (3) (рис. 2 и 4, соответственно) видно, что при диаметре скважин 65 мм и ЛНС от 1,5 до 3,0 м расстояние между концами скважин может достигать 3,5 м. В этом случае P_{\min} будет иметь значение, при котором обеспечивается полнота отрыва слоя руды. Однако, учитывая величину L_{\max} , целесообразно принять максимальное расстояние между концами скважин для всех ЛНС равным 3,2 м.

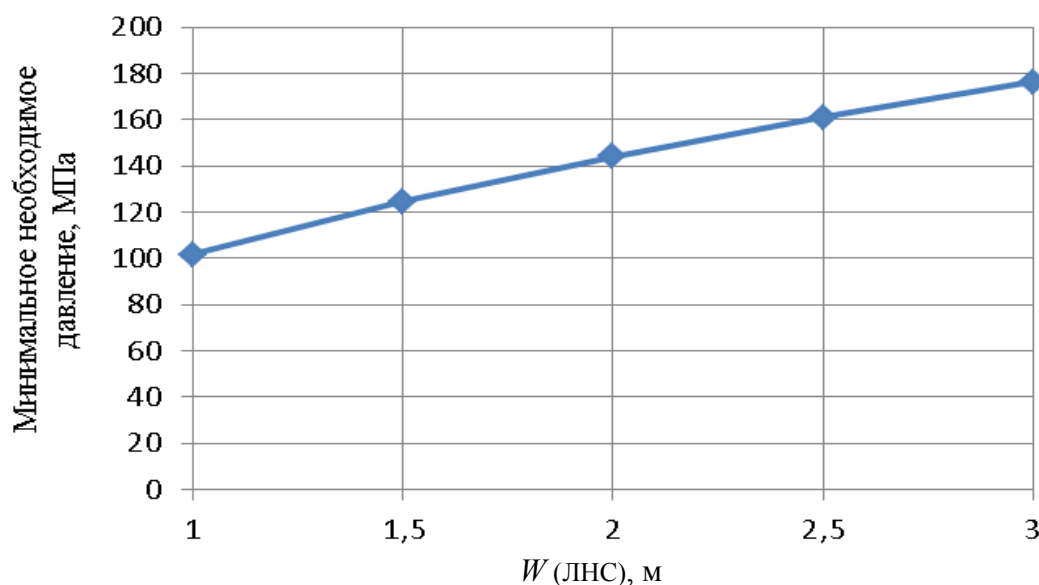


Рис. 4 – Зависимость минимально необходимого давления от ЛНС при максимальной прочности кварца

Эти параметры опробованы в ходе экспериментальной отбойки в Камере 1 (восток) Кыштымского подземного рудника. Результаты взрывов в целом подтвердили все вышесказанное. Подробный анализ экспериментальных исследований будет представлен в последующих публикациях.

Литература

1. Барановский К.В. Влияние горно-геологических факторов на эффективность подземной отработки наклонных залежей средней мощности / К.В. Барановский // ГИАБ. – 2011 – № S11. – С. 288 - 293.
2. Ресурсосберегающая технология подземной разработки месторождения высокоценного кварца / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // ФТПРПИ. – 2015. – № 6. – С. 133 - 145.
3. О формировании научно-технологического задела для внедрения комплексной геотехнологии добычи и переработки высокоценного кварца / И.В. Соколов, С.В. Корнилков, А.Д. Сашурин, В.Г. Кузьмин, В.С. Шемякин // Горный журнал. – 2014. – № 12 – С. 44 - 49.
4. Воронов Е.Т. Кристаллосберегающие технологии подземной разработки месторождений горного хрусталя / Е.Т. Воронов, И.А. Бондарь // Горный журнал. – 2011. – № 11 – С. 23 - 25.
5. Соколов И.В. Обоснование оптимальных параметров буровзрывных работ при отбойке кварца / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, А.А. Рожков // ГИАБ. – 2016. – № 7. – С. 337 - 350.
6. Выбор оптимального варианта комбинированной системы разработки месторождения высокоценного кварца на основе моделирования / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // ФТПРПИ. – 2016. – № 6. – С. 124 - 133.
7. Физическое моделирование взрывной отбойки высокоценного кварца / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, А.А. Рожков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2017. - Т.15. - № 1. - С. 4–9. DOI:10.18503/1995-2732-2017-15-1-4-9

8. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. Разрушение горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2009. - 471 с.
9. Сенук В.М. Импульс взрыва и условия более полного использования его на дробление массива крепких пород при взрывной отбойке // ФТПРПИ. – 1979. – № 1. – С. 28 - 34.
10. Горинов С.А. Действие взрыва плоской системы зарядов ВВ при отбойке горного массива / С.А. Горинов, А.А. Смирнов // ГИАБ. – 2001. – № 4. – С. 42 - 50.
11. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович, В.П. Челышев, Б.И. Шехтер. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
12. Горинов С.А. Эффективность применения плоских систем зарядов для отбойки сильнотрещиноватых руд в подземных условиях / С.А. Горинов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1985. – № 7. – С. 68 - 73.