

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ОСВОЕНИЮ ЕЛЬНИЧНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАГНЕЗИТА

В. Д. Кантемиров

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых является приоритетным направлением совершенствования горного дела. В статье рассмотрены варианты разработки в пределах одного карьера двух и более видов полезных ископаемых на примере Ельничного месторождения магнезита, граничащего с Бердяушским гранитным массивом. Предложены технические решения, позволяющие в пределах одного карьера реализовать совмещенное производство товарных продуктов из разных видов минерального сырья, а именно организовать добычу магнезита для производства огнеупорных материалов одновременно с производством гранитных блоков и кубовидного щебня на базе массива гранитных пород. Определены объемы производства по видам минерального сырья, предложены типы технологического оборудования для выполнения производственной программы. Рассмотрены технологические проблемы, возникающие при совместной добыче магнезита и гранита, и пути их разрешения для повышения эффективности комплексного освоения недр. Определены закономерности и специфические особенности буровзрывных работ при открытой совместной разработке двух разновидностей полезных ископаемых. Установлены зависимости допустимой массы единичного заряда от расстояния между взрываемым блоком и охраняемым массивом, позволяющие корректировать взрывные работы в карьере с учетом необходимой защиты монолитного гранитного массива от сейсмической взрывной волны и вызванной ею наведенной трещиноватости.

Ключевые слова: магнезит, гранит, гранитные блоки, кубовидный щебень, объемы добычи, карьер, комплексная разработка, буровзрывные работы, эффективность.

Благодарность: Статья подготовлена по материалам НИР, выполняемой по программе ФНИ государственных академий наук Тема 1 – Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений полезных ископаемых. (№0405–2019–0005).

Для цитирования: Кантемиров В. Д. Оценка технологических решений по комплексному освоению Ельничного месторождения магнезита // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 29–40. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_29.

Evaluation of engineering solutions on integrated development of Elna magnesite deposit

V. D. Kantemirov

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Integrated mineral mining is a priority area of advance in the mining art. The article considers mining scenarios for extraction of two and more types of minerals within the same open pit in terms of Elna magnesite deposit adjacent to Berdyaush granite massif. The engineering solutions are proposed for concurrent manufacture of marketable products from different minerals within the same quarry, namely, for extraction of magnesite for the production of refractory materials simultaneously with the production of granite blocks and cuboid crushed stone from granite rocks. The production volumes by types of mineral raw materials are determined, and the types of process equipment for the implementation of the production program are proposed. Technological problems arising in the joint extraction of magnesite and granite, and the related solutions toward improved efficiency of integrated mineral mining are considered. The regular patterns and specific features of drilling and blasting operations in joint quarrying of two mineral types are determined. The dependences of the permissible mass of a single explosive charge on the distance between the blasting block and the guarded rock mass are established. These dependences allow adjustment of blasting operations in the quarry with regard to protection of the solid granite massif from the impact of seismic blast wave and from induced fracturing.

Key words: magnesite, granite, granite blocks, cuboid crushed stone, production volumes, quarry, integrated mining, drilling and blasting operations, efficiency.

Acknowledgements: The article is based on the R&D project implemented within the framework of the Basic Research Program of the Governmental Academies of Sciences, Topic 1: Methods to Take into Account Transient Processes in Mining Deep-Seated Mineral Deposits of Complex Structure, No. 0405-2019-0005.

For citation: Kantemirov V. D. Evaluation of engineering solutions on integrated development of Elna magnesite deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):29–40. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_29.

Введение

Одним из главных требований к современному горному производству является максимальное использование предназначенных к отработке природных ресурсов, сокращение отходов добычи и экологической нагрузки на природную среду, оптимизация затрат на организационно-технологические решения, связанные с освоением новых месторождений минерального сырья. При этом важным фактором, повышающим экономическую эффективность горнодобывающего предприятия, является внедрение инновационных технологий комплексной глубокой переработки минерального сырья, включая сопутствующие полезные ископаемые и отдельные комплексы вмещающих пород, пригодные для изготовления товарных продуктов требуемого на рынке качества.

Описание работы

Технологическая возможность вовлечения в комплексную переработку основного и сопутствующего минерального сырья рассмотрена на примере Ельничного месторождения магнезитов, расположенного в Челябинской области. Указанное месторождение находится на балансе ОАО «Комбинат Магnezит» с запасами для открытой добычи в размере 2,1 млн т. Комбинат Магnezит разрабатывает ряд месторождений, включая **Саткинское и Березовское месторождения магнезита, добыча на которых** ведется карьерами, при этом производятся огнеупорные материалы на основе магнезита марок ММШ, ММИ, ММП. В связи с истощением сырьевой базы предприятия предполагается вовлекать в отработку небольшие месторождения, в т. ч. такие, как Ельничное и др. Особенностью

Ельничного месторождения магнезитов является то, что оно на северо-востоке граничит с Бердяушским гранитным массивом. Бердяушский гранитный массив слагают граниты типа Карельских рапакиви. Площадь массива составляет более 35 км², глубина заложения высококачественного гранита прослежена с 50 м до 200 м.

Разработан проект освоения Ельничного месторождения магнезита. Предусмотрена отработка утвержденных запасов месторождения карьером со среднегодовой производительностью до 300 тыс. т/год и текущим коэффициентом вскрыши — 5,3 м³/т. Срок отработки карьера сравнительно небольшой — около 7 лет, за этот срок сложно обеспечить приемлемые показатели эффективности проекта, в т. ч. срок окупаемости инвестиций (PP) и чистый дисконтированный доход (NPV).

Сектором управления качеством минерального сырья (УКР) ИГД УрОРАН выдвинул предложение для повышения эффективности проекта и комплексного освоения Ельничного месторождения вовлечь в разработку гранитные породы Бердяушского массива. Для этого необходимо в пределах северо-восточного борта карьера прирезать к основному объему вмещающих пород дополнительный объем гранитов в размере до 7—8 млн м³ с последующей организацией двух вспомогательных горнодобывающих производств строительной индустрии:

- по разработке пород и изготовлению гранитного кубовидного щебня (по **ГОСТ 8267—93**);

- по производству **гранитных блоков** (по **ГОСТ 9479—98**), предназначенных для изготовления облицовочных и др. изделий.

Результаты исследований

Предлагается создать на базе Ельничного месторождения совмещен-

ное производство по выпуску 3 видов товарных продуктов из минерального сырья, отличающихся технологиями и методами организации производства, а также требованиями, предъявляемыми к конечному продукту.

Для обеспечения безопасной и эффективной разработки сопутствующего гранитного сырья необходимо реализовать комплекс следующих технико-технологических решений:

- подготовку в забоях исходного материала для изготовления кубовидного щебня, производить его с использованием методов усиленного буровзрывного рыхления массива;

- на участке по добыче гранитных блоков необходимо обеспечить опережающую выемку вмещающих пород и некондиционного гранита, а также предусмотреть специальные мероприятия, направленные на защиту участка по добыче блочного камня от сейсмического воздействия взрывов на смежных участках карьера, разрабатывающих магнезит и гранит на щебень.

Прирезка северо-восточного борта позволяет в новых контурах карьера сформировать значительный запас гранитных пород для изготовления кубовидного щебня в объемах до 22,6 млн т (> 8 млн м³).

Щебень предполагается производить с помощью полустационарного дробильно-сортировочного комплекса, в составе которого предложено использовать специальную дробилку-кубизатор производства ОАО «Уралмаш» типа КМД-1750Гр-Д. Стандартный набор оборудования позволяет перерабатывать на кубовидный щебень до 350 тыс. м³/год исходного гранитного сырья и при выходе 70—75 % получать до 0,7 млн т/год товарного щебня различного фракционного состава (**ГОСТ 8267—932—3**).

Реализация данного предложения позволяет продлить общий срок суще-

ствования карьера с 7 до 25 лет, значительно сократить объем вскрыши, перемещаемой в отвалы, при этом средний коэффициент вскрыши (в отвалы) сократится более чем в 10 раз — с 5,1 м³/т до 0,4 м³/т.

Еще один участок в карьере целесообразно организовать для производства гранитных блоков, которые являются сырьем для изготовления декоративной облицовочной плитки и др. изделий. Данная продукция является достаточно дефицитной, а граниты, примыкающие к Ельничному месторождению магнетита, соответствуют качеству Карельских рапакиви, и поэтому будут востребованы на рынке.

Монолитные гранитные блоки по геологическим данным, возможно

добывать с глубины 55—60 м от поверхности. Добычу гранитных блоков предполагается вести с горизонтов +340 ÷ +310 м (высота рабочей зоны — 30 м), между разведочными линиями 3+50 ÷ 5+20 (протяженность фронта работ 150—200 м). Схема расположения в карьере участка по добыче гранитных блоков представлена на рис. 1.

Таким образом, в карьере предполагается организация трех сопряженных производств по добыче разных видов минерального сырья:

- добыча магнезита и вмещающих вскрышных пород между гор. + 390 ÷ + 240 м;
- добыча гранита на щебень между гор. + 440 ÷ + 340 м;

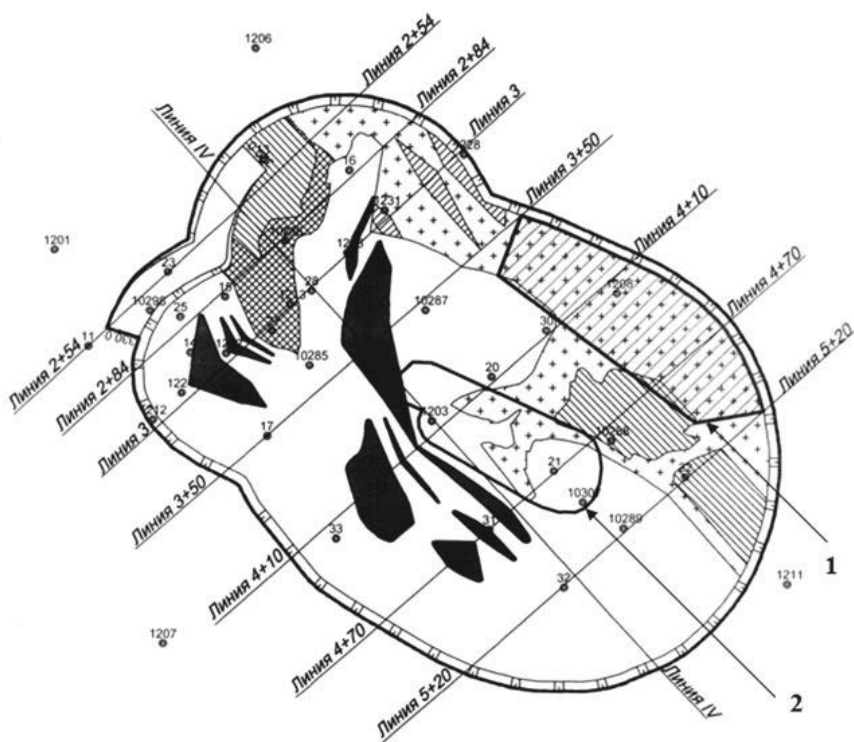


Рис. 1. Схема расположения участка карьера по производству гранитных блоков:

1 — границы участка по добыче блоков; 2 — границы дна карьера

Fig. 1. Layout of granite block production area in quarry: 1 — block cutting area boundary;

2 — quarry bottom boundary

– добыча гранита на блоки с горизонтов + 340 ÷ + 310 м.

Предварительно определены объемы добычи и сроки службы сопряженных производств:

– добыча магнетита в объеме 300 тыс. т/год (103 тыс. м³/год) и вмещающих пород – 1350 тыс. м³/год, срок службы участка – 7 лет;

– добыча гранита на щебень по 350 тыс. м³/год, срок службы участка ~ 25 лет;

– добыча гранита на блоки по 25 – 30 тыс. м³/год, срок службы участка 10 – 12 лет, с начала эксплуатации карьера – 14 – 16 лет.

При производстве высококачественного кубовидного щебня необходимо максимально сохранить высокую прочность исходного материала – гранита. Одним из методов решения этой задачи является сокращение стадий дробления в дробильно-сортировочных комплексах при производстве щебня за счет усиленного буровзрывного рыхления гранитных пород в карьере и уменьшения среднего куска исходной горной массы [1 – 3].

Для производства щебня, как правило, используют три стадии дробления:

– крупное – исходный кусок до 1000 ÷ 1300 мм, кусок на выходе 100 ÷ 350 мм;

– среднее – исходный кусок 100 ÷ 350 мм, кусок на выходе 30 ÷ 100 мм;

– мелкое – исходный кусок 30 ÷ 100 мм, кусок на выходе 5 ÷ 30 мм.

Стадия крупного дробления является наиболее энергоемкой и затратной, при этом капитальные затраты по оценкам составляют до 50 % от общих затрат на дробление, а эксплуатационные могут превышать 85 % [4, 5]. Производительность экскаваторов также напрямую зависит от качества буровзрывной подготовки массива.

С увеличением степени дробления и коэффициента разрыхления породы в забое сокращается удельное сопротивление породы копанию и возрастает эффективность работы экскаваторов. На практике средний кусок $d_{ср}$ на крупных рудных карьерах колеблется в пределах 350 – 450 мм при наличии крупных (800 – 1200 мм) и негабаритных (> 1200 мм) кусков в пределах 1,5 – 2,5 %.

Усиленное буровзрывное рыхление гранитов, предназначенных для изготовления щебня, позволит исключить из технологической схемы производства стадию крупного дробления. Для обеспечения в карьере усиленного рыхления массива необходимо изменить параметры буровзрывных работ [5 – 8] с соблюдением следующих требований:

– диаметр скважин (D) не должен превышать 160 мм;

– расчетная линия сопротивления по подошве (W) относительно диаметра скважин не должна превышать значений: $W_0 \approx 24 \div 27 D$;

– расстояние между скважинами (a): $a \approx 27 \div 31 D$;

– коэффициент сближения скважин (m_0): $m_0 = a / W_0 = 1,15$;

– перебур скважины (L_n) не должен превышать значений: $L_n \approx 8 \div 10 D$;

– форма сетки расположения скважин – шахматная равносторонняя;

– взрывание многорядное (свыше 3-х рядов);

– размещение заряда по высоте – равномерное (за счет создания по длине заряда воздушных промежутков). Для зарядания скважин предпочтительнее использовать более мощные ВВ, улучшающие качество дробления, такие как: Акватолы М-15, Гранулиты (АС-8, АС-4, С-2, М), Алюмотол, Гранулотол, Граммоналы и др.

Перечисленные мероприятия особенно эффективны при разработке

крепких пород (гранитов, базальтов, габбро и др.), и могут быть использованы при производстве высококачественного кубовидного щебня I, II категории по ГОСТ 8267–93. Технологическая и экономическая целесообразность усиленного буровзрывного рыхления крепких пород особенно очевидна для небольших предприятий с объемами добычи до 1,5 млн м³/год. Отрицательным фактором внедрения усиленного буровзрывного рыхления гранитных пород является увеличение затрат на бурение, зарядание и взрывание скважин, которое, по нашей оценке, в значительной мере перекрывается сокращением затрат на экскавацию и крупное дробление [9–19]. Оценка влияния параметров БВР (удельного расхода ВВ, расстояния между скважинами и др.) на их экономические показатели представлены на рис. 2.

Одной из сложных задач при организации предложенных совмещенных производств является необходимость предохранения массива, предназначенного для производства гранитных

блоков, от сейсмического воздействия взрывных работ на участках по разработке магнезита и гранита на щебень. Для этого в приконтурной зоне, граничащей с массивом для изготовления блоков, необходимо производить буровзрывные работы по специальным технологиям, позволяющим уменьшить сейсмическое воздействие взрывов.

На основе накопленного опыта и существующих разработок сформулированы следующие рекомендации по сокращению воздействия сейсмической волны при производстве БВР: наклонные скважины предпочтительнее вертикальных; диаметр скважин следует принимать меньшим, чем при обычных массовых взрывах; целесообразно применять короткозамедленное взрывание; при подходе к охраняемому массиву количество одновременно взрываемого ВВ должно быть уменьшено на 20–35 % от расчётных значений. Для более равномерного распределения энергии взрыва (по всей высоте приконтурного участка уступа) в приконтурных рядах может

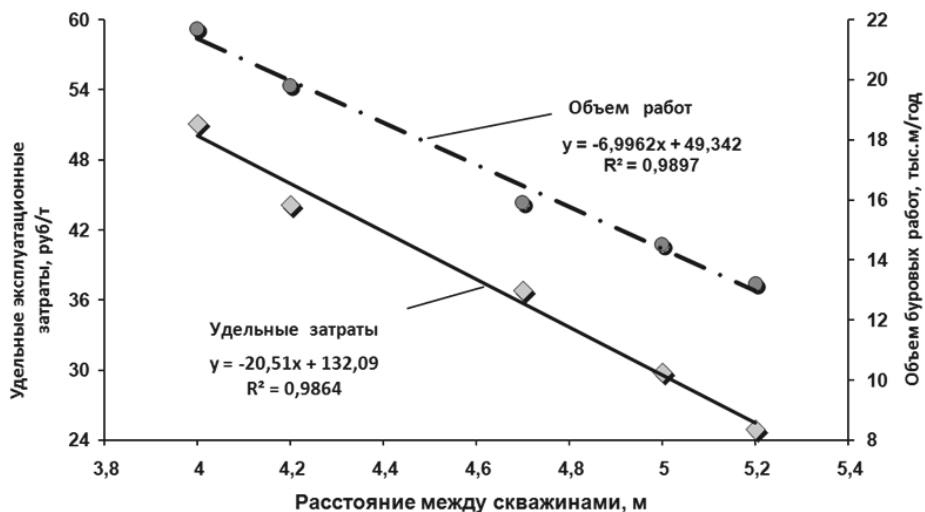


Рис. 2. Зависимость объема буровых работ и удельных эксплуатационных затрат на БВР от расстояния между взрывными скважинами

Fig. 2. Content of blasting operations and specific blasting cost versus distance between blastholes

применяться рассредоточенная конструкция зарядов [1]. Рекомендуемые схемы монтажа взрывной сети с применением схемы незлектрического инициирования СИНВ и др.: а) диагональная порядовая; в) последовательная «змейкой» с замедлением каждой скважины (рис. 3).

Участок карьера по добыче гранитных блоков предлагается оконтуривать отрезными щелями по периметру гра-

ницы участка, при этом длина отрезной щели должна быть на 10–15 м больше, чем протяженность охраняемого участка. Конструкция отрезной щели формируется с использованием известных технологий: по контуру охраняемого участка забуриваются ряд сближенных скважин, которые заряжаются либо гирляндными зарядами, сформированными из патронированного ВВ – аммонита 6ЖВ, либо спе-

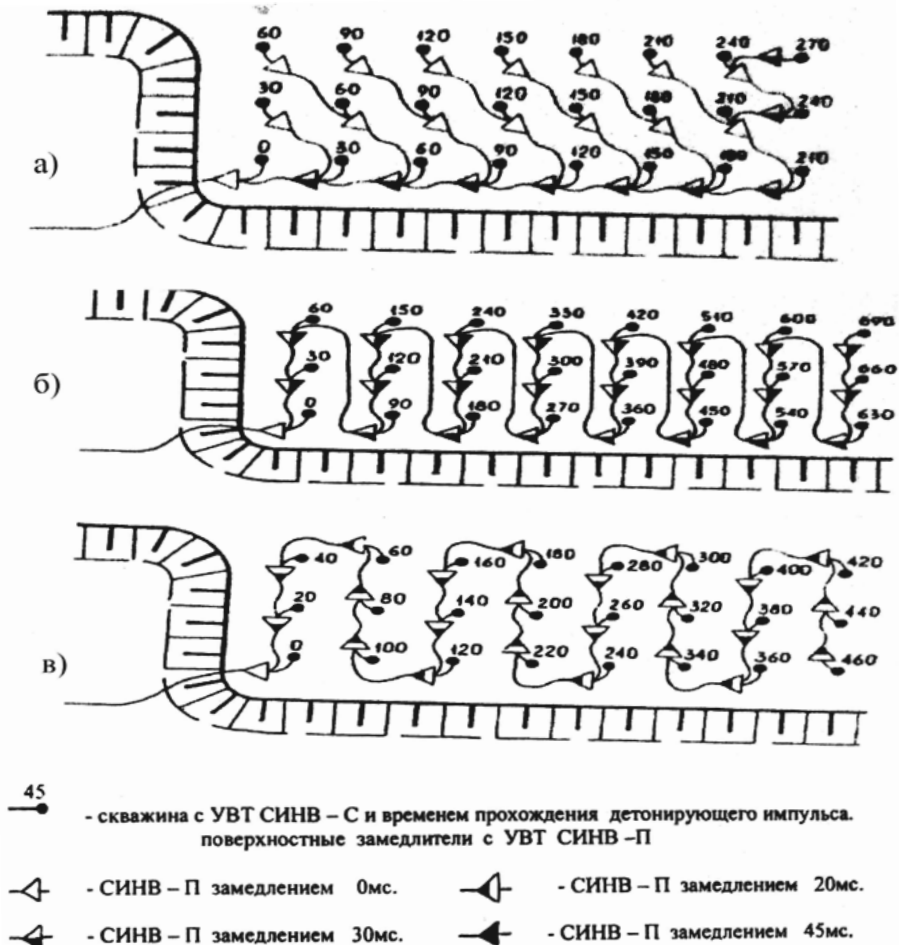


Рис. 3. Схемы монтажа взрывной сети с применением систем незлектрического инициирования СИНВ (уменьшающие воздействие сейсмической волны от взрыва): а – диагональная порядовая; б, в – последовательная «змейкой», с замедлением каждой скважины

Fig. 3. Blasting patterns with nonelectric explosive initiation systems (to mitigate impact of blast-induced seismic wave): (a) diagonal rows; (b) successive S-turn with delay at each blasthole

циальными гирляндовыми зарядами типа ЗКВГ-40, ЗКВГ-60 и др.[2, 12].

Выполнена оценка сейсмического воздействия взрыва в зависимости от массы взрываемого заряда в скважине (рис. 4, формулы 1 – 3).

Степень сейсмического воздействия взрыва на массив можно оценить по скорости смещения грунта по следующей формуле [3]:

$$V = \frac{K \times \Delta}{\alpha \times \beta} \left(\frac{\sqrt[3]{Q_3}}{r} \right)^v, \quad (1)$$

где V – максимальная векторная скорость смещения грунта, см/с; K – коэффициент, характеризующий удельный сейсмический эффект (коэффициент сейсмичности); Δ – коэффициент, зависящий от плотности заряжения выработки, равен отношению фактической массы заряда к той массе заряда, которая была бы при полном заполнении скважины (0,9–1,2 кг/дм³); α – коэффициент, учитывающий снижение интенсивности сейсмических колебаний по мере углубления; β – коэффициент, учитывающий степень экранизации сейсмических волн, при взрывании без сейсмического экрана равен 1; Q_3 – эквивалентная масса одновременно взрываемого заряда, кг; r – расстояние до предохраняемого объекта, м; v – показатель затухания скорости сейсмических волн с расстоянием.

При оценке следует учесть, что разрушения массива не происходит при скорости смещения грунта (V) до 20 см/с, а при значениях V от 20 до 50 см/с допустимы незначительные разрушения массива и развитие уже существующих трещин.

Коэффициент сейсмичности по упрощенной формуле [3]:

$$K = 730 \left(\frac{f}{30} + \sqrt{\frac{f}{30}} \right)^{1/5}, \quad (2)$$

где f – коэффициент крепости породы по шкале проф. М. М. Протождяконова.

Если задана допустимая скорость колебания грунта (V_d), то сейсмобезопасную массу заряда можно найти по формуле:

$$Q_1 = \left[\left(\frac{V_d}{K \times \sqrt{\beta}} \right)^{1/2} \times r \right]^3. \quad (3)$$

На рис. 4 представлены результаты расчетов допустимых масс единичного взрываемого заряда (на 1 группу замедления) в зависимости от расстояния между взрываемым блоком и охраняемым массивом для заданной допустимой скорости смещения грунта V_d (10÷50 см/с) и условий Ельничного карьера.

Для организации в карьере участка по добыче и изготовлению гранитных блоков необходимо обеспечить доступ к монолитному гранитному массиву (его вскрытие). Для этого предложена опережающая выемка вскрышных пород и некондиционного гранита с использованием специальной технологии буровзрывных работ. Предусмотрено рыхление покрывающих монолит выветрелых гранитных пород между горизонтами +350 ÷ + 340 м на северо-восточном борту карьера в объеме до 200 тыс. м³. БВР производится по предохраняющей остальной массив технологии: шпуровым методом, двумя слоями по 5 м, с глубиной шпуров 4,5–5,5 м, заряданием зарядами мягкого взрывания типа ЗМВ – 10–3 (производства завода ФГУП «Искра» г. Новосибирск). Для бурения шпуров Ø 32 мм рекомендуются гидравлические станки типа Sandvik (DC300R, DQ100) и др., которые впоследствии могут быть использованы на добыче гранитных блоков.

Выемка горной массы предусмотрена экскаватором с погрузкой в технологический автотранспорт и вывозом

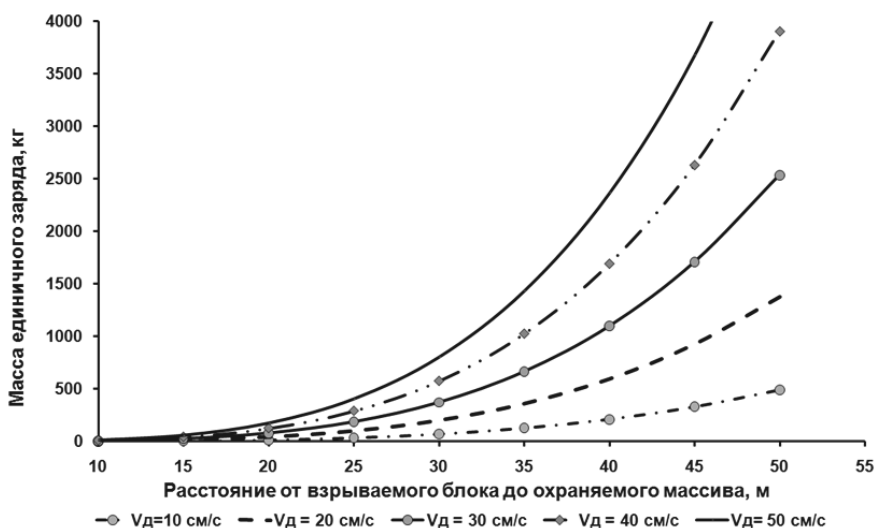


Рис. 4. Зависимость допустимой массы единичного заряда от расстояния между взрываемым блоком и охраняемым массивом

Fig. 4. Permissible unit charge mass versus blasting block-guarded rock mass spacing

ее на дробильно-сортировочный комплекс по производству щебня.

Добычу и производство товарных гранитных блоков предполагается вести по комбинированной технологии — буровзрывной и клиновой. Предлагается двухстадийная технологическая схема, предусматривающая отделение от массива монолитов свыше 10 м³ буровзрывным способом, завалку их на подошву уступа и последующую разделку на товарные блоки механизированным буроклиновым способом. Высота уступов для добычи блоков составит 6–8 м с подступами высотой 3–4 м. Планируемый средний выход блоков II–IV категории до 20 %.

Выводы

Комплексная разработка сложных месторождений с извлечением двух и более видов полезного ископаемого является перспективным направлением совершенствования и повышения эффективности открытой разработки. Реализация мероприятий по увеличению загрузки горнодобывающего

и обоганительного оборудования дополнительным сырьем с последующей его комплексной переработкой обеспечивает: более рациональное использование недр и земельных угодий; высокий уровень концентрации и комбинирования производства за счет создания совмещенных и сопряженных предприятий по переработке попутно добываемых полезных ископаемых; высокую эффективность капитальных вложений в расширение горных предприятий при незначительных удельных капитальных затратах на попутную продукцию (меньше в 2–2,5 раза, чем на соответствующих специализированных предприятиях); существенное снижение себестоимости попутной товарной продукции (в 1,5–1,7 раза) по сравнению со специализированными предприятиями; значительное уменьшение фондоёмкости и увеличение фондоотдачи горных предприятий; сокращение площадей, отводимых под отвалы и затрат на складирование скальных пород и содержание отвального хозяйства; снижение транспортных расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. *Друкованый М. Ф.* Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки /М. Ф. Друкованый, Б. Н. Тартаковский, В. С. Вишняков, Э. И. Ефремов // — Киев: Наук. думка, 1974. — 268 с.
2. *Мосинец В. Н., Рубцов В. К.* Уменьшение вредного воздействия массовых взрывов на приконтурную зону карьера «Мурунтау» /В. Н. Мосинец, В. К. Рубцов // — Горный журнал, 2002. Специальный выпуск. — С. 100–104
3. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие /Под ред. проф. В. А. Белина // — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. — 563 с.
4. *Козин В. З.* Исследование руд на обогатимость /В. З. Козин // — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. — 380 с.
5. Lian-Rong ZHAO, Wei Chen. Establishment of Assessment Indicator System of Sustainable Development in Mining Industry and Evaluation of Pilot Project. 2014 International Conference on Social Science (ICSS 2014). Atlantis Press, 2014. — 193–200 pp.
6. *Михайлов А. Г.* Проектирование параметров взрывных работ на карьерах /А. Г. Михайлов // — Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2002. — 268 с.
7. *Епимахов Ю. А.* Методические указания по проектированию и производству массовых взрывов при возведении подземных сооружений /Ю. А. Епимахов, В. В. Гушин, Г. Н. Сиротюк и др./ — Апатиты: Издательство КНЦ АН СССР, 1990. — 73 с.
8. *Комащенко В. И.* Буровзрывные работы: Учебник для вузов /В. И. Комащенко, В. Ф. Носков, Ю. А. Лебедев // — М: Недра, 1995. — 413 с.
9. *Каплунов Д. Р.* Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений /Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко // Горный журнал. — 2013. — № 2. — С. 86–90.
10. *Каплунов Д. Р.* Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии /Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S1–1. — С. 229–240.
11. *Кантемиров В. Д.* Технологические особенности освоения новых сырьевых баз / В. Д. Кантемиров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 6. — С. 369–373.
12. *Кантемиров В. Д.* Современные подходы к выбору методов рудоподготовки минерального сырья /В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев, М. В. Козлова // Маркшейдерия и Недропользование. — 2020. — № 4(108). — С. 29–34. DOI:10.25635/w9470–3467–8768-v
13. *Ермаков А. Ю.* Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор) / А. Ю. Ермаков, В. В. Сенкус, Дык Тхань Фам и др. // Горные науки и технологии. — 2019. — Т. 4. № 4. — С. 230–250. DOI: 10.17073/2500–0632–2019–4-230–250
14. *Potvin Y.* The development of a new high-energy absorption mesh /Y. Potvin, G. Giles // Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series. — 2008. — P. 89–94
15. *Claudio O.* Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring /O. Claudio, O. Pierpaolo // International Journal of Mining Science (IJMS) — 2015. — Vol. 1, Issue 1. — P. 35–42
16. *Yuan L.* Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources /L. Yuan // Journal of the China Coal Society. — 2019. — 44 (1). — P. 1–9 DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048
17. *Trushko O. V.* Ensuring sustainability of mining workings in development of ore deposits in complex geological conditions /O. V. Trushko, D. A. Potemkin, M. G. Popov //

18. Abreu A. Ana Carolina A decision support approach to value flexibility considering uncertainty and future information / A. C. A. Abreu, R. Booth, M. Prange et al. // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2018. — Volume 167. — P. 88–99 DOI: 10.1016/j.petrol.2018.03.077

19. Pariser H. H. Changing nickel and chromium stainless steel markets / H. H. Pariser, N. R. Backeberg, O. C. M. Masson, J. C. M. Bedder // Proceedings of the 15th International ferroalloys congress (INFACON 15). South Africa, Cape Town, 2018. — P. 1–12. **MIAB**

REFERENCE

1. Drukovanyj M. F., Tartakovskij B. N., Vishnyakov V. S., Efremov E. I. *Vliyanie drobleniya porod na effektivnost' tekhnologicheskikh processov otkrytoj razrabotki* [The influence of rock crushing on the efficiency of open-pit mining processes]. Kiev: Nauk. dumka, 1974. 268 p. [In Russ]

2. Mosinec V. N., Rubcov V. K. Reduction of the harmful impact of mass explosions on the near-contour zone of the Muruntau quarry. *Gornyj zhurnal*, 2002. Special'nyj vypusk. pp. 100–104 [In Russ]

3. *Metody vedeniya vzryvnyh robot. Special'nye vzryvnye raboty* [Methods of conducting blasting operations. Special explosive works]: Uchebnoe posobie /Pod red. prof. V. A. Belina. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2007. 563 p. [In Russ]

4. Kozin V. Z. *Issledovanie rud na obogatimost'* [Research of ores on the enrichability]. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2009. 380 p. [In Russ]

5. Lian-Rong ZHAO, Wei Chen. Establishment of Assessment Indicator System of Sustainable Development in Mining Industry and Evaluation of Pilot Project. 2014 International Conference on Social Science (ICSS 2014). Atlantis Press, 2014. 193–200 pp.

6. Mihajlov A. G. *Proektirovanie parametrov vzryvnyh robot na kar'erah* [Designing the parameters of blasting operations at quarries]. Yakutsk: YaF Izd-va SO RAN, 2002. 268 p. [In Russ]

7. Epimahov Yu. A., Gushchin V. V., Sirotyuk G. N. et al. *Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu i proizvodstvu massovyh vzryvov pri vozvedenii podzemnyh sooruzhenij* [Methodological guidelines for the design and production of mass explosions in the construction of underground structures]. Apatity: Izdatel'stvo KNC AN SSSR, 1990. 73 p. [In Russ]

8. Komashchenko V. I., Noskov V. F., Lebedev Yu. A. *Burovzryvnye raboty* [Burovzryvnye raboty]: Uchebnyk dlya vuzov. Moscow: Nedra, 1995. 413 p. [In Russ]

9. Kaplunov D. R., Ryl M. V.'nikova, Radchenko D. N. Expanding the raw material base of mining enterprises on the basis of integrated use of mineral resources of deposits. *Gornyj zhurnal*. 2013. no. 2. pp. 86–90. [In Russ]

10. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V. Design of formation and development of mining systems in combined geotechnologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. S1–1. pp. 229–240. [In Russ]

11. Kantemirov V. D. Technological features of the development of new raw materials bases. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014. no. 6. pp. 369–373. [In Russ]

12. Kantemirov V. D., Titov R. S., Yakovlev A. M., Kozlova M. V. Modern approaches to the choice of methods of ore preparation of mineral raw materials. *Markshejderiya i Nedropol'zovanie*. 2020. no. 4(108). pp. 29–34. DOI:10.25635/w9470–3467–8768-v [In Russ]

13. Ermakov A. Yu., Senkus V. V., Dyk Than' Fam et al. Combined technologies for the development of coal deposits (review). *Gornye nauki i tekhnologii*. 2019. T. 4. no. 4. pp. 230–250. DOI: 10.17073/2500–0632–2019–4-230–250 [In Russ]
14. Potvin Y., Giles G. The development of a new high-energy absorption mesh. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series*. 2008. pp. 89–94.
15. Claudio O., Pierpaolo O. Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring. *International Journal of Mining Science (IJMS)*, 2015. Vol. 1, Issue 1. pp. 35–42.
16. Yuan L. Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources. *Journal of the China Coal Society*. 2019. 44 (1). P. 1–9 DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048.
17. Trushko O. V., Potemkin D. A., Popov M. G. Ensuring sustainability of mining workings in development of ore deposits in complex geological conditions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. T. 13. no. 7. pp. 2594–2601.
18. Abreu A. Ana Carolina, Booth R., Prange M. et al. A decision support approach to value flexibility considering uncertainty and future information. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. Volume 167. pp. 88–99 DOI: 10.1016/j.petrol.2018.03.077
19. Pariser H. H., Backeberg N. R., Masson O. C. M., Bedder J. C. M. Changing nickel and chromium stainless steel markets. Proceedings of the 15th International ferroalloys congress (INFACON 15). South Africa, Cape Town, 2018. pp. 1–12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кантемиров Валерий Данилович — канд. техн. наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья, Институт горного дела УрО РАН Екатеринбург, Россия, e-mail: ukrkant@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kantemirov V. D., Cand. Sci. (Eng.), Quality management sector chief, Institute of Mining of Ural branch of RAS, Ekaterinburg, Russia, ukrkant@mail.ru.

Получена редакцией 15.12.2020; получена после рецензии 24.02.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 15.12.2020; received after the review 24.02.2021; accepted for printing 10.04.2021.

