ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА УДАЛЕНИЯ СКАЛЬНОЙ ВСКРЫШИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА

Н.Г. Караулов, А.Р. Белан

**Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия**

Рассматривается возможность совместной отработки скальной вскрыши и добычного горизонта одним высокоим уступом комбинированной отработкой с использованием АКМ и БКМ с целью сокращения времени строительства карьера.

В работе представлены исследования зависимости срока строительства карьера от высоты уступа и проведен анализ вариантов строительства карьера с использованием для удаления скальной вскрыши комплексов оборудования БКМ + АКМ и БКМ в условиях Редутовского месторождения. В результате проведенных исследований установлено, что при производительности карьера 45 тыс. м³ по мрамору удаление скальной вскрыши комплексом из АКМ и БКМ при высоте уступа по скальной вскрыше 6 м позволяет увеличить рентабельность предприятия с 8,9 до 13,5 % и снизить период строительства карьера на 2 мес., по сравнению с применяемым в настоящее время комплексом из баровых камнерезных машин.

Комбинация АКМ и БКМ позволяет увеличить высоту ступа, сократить время удаления скальной вскрыши за счет повышения производительности оборудования.

Ключевые слова: карьер, вскрыша, мрамор, месторождение, горизонт, уступ, оборудование, алмазно-канатные машины, фронт работ, система разработки, деррик-кран, погрузчик, вскрытие горизонта, рабочая площадка, строительство карьера, производительность карьера, выход блоков.

JUSTIFICATION OF ROCK STRIPPING REMOVING METHOD DURING MARBLE FIELD DEVELOPMENT

N.G. Karaulov, A.R. Belan

**Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk,
Russian Federation**

The possibility of joint mining rock stripping and mining horizon by one high ledge combined working using diamond-cable machines and bar stone-cutting machines is considered in order to reduce quarry construction time.

The paper presents the study of the construction period depending on the height of quarry ledge and analyzes quarry construction options using complex equipment bar stone-cutting machines + diamond-cable machines and bar stone-cutting machines to remove rock stripping in the conditions Redutovskoe field. A result of research found that when performance quarry reaches 45 thousand m³ of marble rock stripping removal complex of diamond-cable machines and bar stone-cutting machines with the height of the ledge on the rock stripping 6 m can increase the profitability of the company from 8,9 to 13,5% and reduce the period of quarry construction to 2 months compared with currently used complex of bar stone-cutting machines.

Diamond-cable machines and bar stone-cutting machines combination can increase the height of the ledge, reduce rock stripping removal by increasing the productivity of the equipment.

Keywords: quarry, stripping, marble, field, horizon, ledge equipment, diamond-cable machine, front of works, development system, derrick crane, loader, horizon opening, working platform, quarry construction, quarry performance, blocks output.

Доходы от мраморной промышленности в мире составляют 45 млрд долл. Общий объем блоков, добытых за год всеми странами мирового сообщества, составил 33,3–35,7 млн м³ [1, 2].

Доля нашей страны в мировой добыче блоков не превышает 1 %, хотя по запасам и многообразию облицовочного камня Россия занимает ведущие позиции в мире [3, 4]. Но невысокое качество продукции из камня не может полностью удовлетворить запросы заказчиков, занятых строительством элитных зданий и сооружений, чем объясняется необходимость импортных поставок изделий из оригинального облицовочного камня [5].

Месторождения облицовочного мрамора имеют самые разнообразные формы залегания: от горизонтального и пологого до крутого и субвертикального, наиболее часто представлены пластообразными и линзообразными телами мощностью от 3–4 до нескольких сотен метров [6].

Следует отметить, что использование новых технологий и современного зарубежного оборудования, а также более строгие требования к мраморным блокам, поступающим на обработку, сделали неперспективным применение буровзрывных работ непосредственно на отделении мрамора от массива.

Увеличение объемов добычи облицовочного камня требует вовлечения в разработку новых месторождений с использованием всех возможностей современного оборудования. В настоящее время на большинстве карьеров по добыче мрамора внедрены алмазно-канатные машины (АКМ), при этом возможности данного оборудования используются не в полной мере; например, АКМ практически не применяются при удалении скальной вскрыши.

Как правило, в России трещиноватый мрамор традиционно обрабатывают баровыми камнерезными машинами (БKM), причем на обработку данного слоя приходится от 40 до 80 % времени, затрачиваемого на строительство карьера [7].

Строительство карьера при традиционном подходе с производственной мощностью по блокам 10 тыс. м³ может длиться 3–5 лет, в связи с чем в ряде случаев строительство карьера останавливается, а выработанное пространство рекультивируется (например, месторождения Рыскужинское, Еленинское и т.д.).

С целью сокращения времени строительства карьера исследована возможность совместной отработки скальной вскрыши и добычного горизонта одним высоким уступом комбинированной отработкой с использованием АКМ и БKM. Комбинация АКМ и БKM позволяет увеличить высоту ступа, сократить время удаления скальной вскрыши за счет повышения производительности оборудования. При этом применение БKM на горизонтальной подрезке монолита устраняет трудоемкость выполнения горизонтальных шпуров [8].

Анализируя методы ведения работ на месторождениях мрамора зарубежных стран, можно сказать, что подземный способ разработки активно применяют только в Италии и США [9].

В настоящее время выбор открытого или подземного способа разработки за рубежом определяет наличие большой мощности покрывающих пород [10], нагорный характер рельефа (мраморные карьеры в районе Апуанских Альп) [11] и отсутствие развитого фронта работ, обеспечивающего производительность предприятия.

Наиболее показателен опыт горных предприятий в районе Апуанских Альп Италии, где сконцентрировано более 200 карьеров. Выемку камня осуществляют сверху вниз за счет выпиливания монолитов различных размеров с последующим расширением фронта горных работ. В большинстве случаев верхний уступ полностью обрабатывают до начала разработки нижележащего уступа. При открытом способе добычи одноуступную технологию применяют на 60 % карьеров. Многоуступную сис-

тему разработки (в среднем не более двух-трех уступов) используют лишь на крупных карьерах, где ширина площадки в 86 % случаев превышает 10 м.

На карьерах уступ нарезают преимущественно с помощью установок алмазно-канатного пиления. Достаточно часто установки алмазно-канатного пиления работают совместно с баровыми машинами, которые более удобны для выполнения горизонтальных пропилов [12].

В настоящее время большинство карьеров в России отрабатываются с использованием передвижного крана, а в зарубежной практике интенсивно используется как деррик-кран, так и погрузчик. Например, среди подъемного и погрузочного оборудования, используемого в районе Апуанских Альп, преобладают колесные погрузчики, а также деррик-краны. При завалке монолитов также достаточно часто используют гидравлические экскаваторы (34,6 %) и колесные погрузчики (39,5 %) с размещением на кровле уступа. Основным преимуществом использования погрузчика является возможность обслуживать несколько рабочих площадок одной единицей техники.

Вскрытие горизонтов на месторождениях мрамора возможно котлованами, капитальными траншеями и полутраншеями.

В настоящее время подготовка блоков мрамора к выемке возможна следующими комплексами камнерезного оборудования [13]:

- БКМ;
- АКМ;
- с применением БКМ и АКМ.

Следует отметить, что вышеперечисленные комплексы оборудования для подготовки блоков к выемке можно применять с различным выемочно-погрузочным оборудованием, например: деррик-краном, передвижным краном и погрузчиком [14]. При этом в процессе вскрытия рабочего горизонта в комплексе с большегрузным погрузчиком необходимо предусматривать строительство наклонного съезда, протя-

женность которого с учетом нормативного уклона будет определять высота добычного уступа.

В данной работе приведен вариант строительства карьера с применением передвижного крана ДЭК 251, а вскрытие горизонтов представлено котлованом на примере Редутовского месторождения мрамора с применением БКМ и БКМ + АКМ.

В строительстве карьера по добыче мрамора можно выделить основные этапы:

- удаление рыхлой вскрыши;
- вскрытие горизонта скальной вскрыши;
- удаление скальной вскрыши;
- вскрытие добычного горизонта;
- создание рабочих площадок на добычных горизонтах.

В данной работе рассмотрены следующие схемы вскрытия [15]:

- вскрытие котлованом с применением БКМ (рис. 1);
- вскрытие котлованом с применением АКМ и БКМ (рис. 2).

Большинство карьеров в России по добыче мрамора традиционно вскрывают способом № 1, который достаточно прост в организации и не требует специального оборудования.

При использовании схемы № 2 первоначально создается наклонная выработка (V_1) под углом около 35° к поверхности, далее срабатывается наклонная часть (V_2), после чего отрабатывается оставшийся объем (V_3) (рис. 2, з). При использовании данной схемы наклонные и горизонтальные пропилы выполняются с использованием БКМ, а вертикальные – АКМ.

Эффективность использования схем вскрытия, схемы № 1 – традиционной с применением БКМ и схемы № 2 – создание вскрывающей камеры с применением АКМ и БКМ, наглядно представлено на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что схема № 2 в 2,5 раза быстрее вскрывает горизонт, чем традиционная схема № 1.

Рис. 1. Вскрытие котлованом с применением БКМ: *а* – выполнение вертикального реза БКМ для создания первоначальной выемки; *б* – разнос первоначальной выемки; *в* – горизонт, вскрытый котлованом

Рис. 2. Создание вскрывающей камеры с применением АКМ и БКМ: *а* – бурение вертикальных скважин для пропуска алмазно-канатного контура; *б* – выполнение наклонного реза БКМ; *в* – выполнение вертикального реза АКМ; *г* – вскрытый горизонт для отработки высоким уступом; *1* – БКМ; *2* – АКМ; *3* – скважины; *4* – буровая установка

Рис. 3. Зависимость времени вскрытия горизонта от комплекса оборудования

Рис. 4. График зависимости срока строительства карьера от высоты уступа

Для оценки влияния выбранного способа на период строительства карьера в целом необходимо учесть удаление скальной вскрыши.

Продолжительность строительства карьера определяется в основном периодом удаления скальной вскрыши и вскрытием горизонтов. Высота уступа при использовании АКМ в отличие от БКМ не фиксирована и на добычных горизонтах определяется исходя из условия обеспечения максимального выхода блоков. Для обоснования высоты уступа при совместной отработке скальной вскрыши

и добычного горизонта АКМ исследовано влияние высоты уступа в диапазоне от 6 до 12 м на срок строительства карьера (рис. 4). В расчетах принята проектная производительность карьера 45 тыс. м³, выемочно-погрузочное оборудование – передвижной кран.

С изменением высоты уступа изменяется ширина рабочей площадки, вследствие чего увеличивается объем вскрышных пород. Нам необходимо подобрать рациональные параметры высоты вскрывного уступа.

Из графика видно, что отработка скальной вскрыши большим уступом (от

10 до 12) нерациональна, причем чаще всего верхний слой выветрелого мрамора осложняет работу АКМ. Вместе с тем увеличение высоты уступа значительно увеличивает срок строительства карьера за счет возрастания объемов скальной вскрыши, в связи с чем в дальнейших расчетах высота вскрышного уступа принимается 6 м.

В условиях Редутовского месторождения проведен анализ вариантов строительства карьера с использованием для удаления скальной вскрыши АКМ (рис. 5, а) и БКМ (рис. 5, б) [16].

В результате проведенных исследований установлено, что при производительности карьера 45 тыс. м³ по мрамору удаление скальной вскрыши комплексом из АКМ и БКМ при высоте уступа по скальной вскрыше 6 м позволяет увеличить рентабельность предприятия с 8,9 до 13,5 %, снизить период строительства карьера на 2 мес. по сравнению с применяемым в настоящее время комплексом из баровых камнерезных машин. После определения времени строительства карьера находится значение рента-

бельности предприятия для различных вариантов выемочно-погрузочного оборудования и камнерезного оборудования исходя из существующих цен на оборудование и добываемые блоки мрамора.

Увеличение выхода блоков из горной массы связано с большими объемами первоначального монолита, а также с увеличением высоты уступа с 2 до 10 и более метров.

После определения времени отработки этапов I–V составляются календарные планы строительства карьера с использованием различных способов вскрытия и выемочно-погрузочного оборудования. Расчетное время строительства карьера с использованием различных способов вскрытия и выемочно-погрузочного оборудования представлено на рис. 6.

Эффективность применения комплекса АКМ и БКМ объясняется главным образом увеличением производительности камнерезного оборудования и снижением капитальных затрат. Наряду со снижением капитальных затрат использование АКМ при удалении скальной вскрыши позволяет

Рис. 5. Строительство карьера с различным камнерезным оборудованием, используемым при удалении скальной вскрыши: а – удаление скальной вскрыши АКМ и БКМ; б – удаление скальной вскрыши БКМ

Рис. 6. Зависимость срока строительства от производительности карьера и применяемого выемочно-погрузочного и камнерезного оборудования на примере Редутовского месторождения

Рис. 7. Графическое изображение методики выбора оборудования и способа вскрытия рабочих горизонтов

получать попутную добычу в более ранний период. Исследования показали, что капитальные затраты в большей степени зависят от производственной мощности карьера по товарным блокам и применяемого камнерезного оборудования.

Для выбора способа вскрытия горизонтов, рационального типа выемочно-погрузочного и камнерезного оборудования при разработке месторождений мрамора предложена методика. Последовательность расчетов и графическое изображение разработанной методики представлено на рис. 7.

В то же время на действующих предприятиях по добыче блочного камня сокращение времени строительства карьера не имеет большого значения, так как он уже построен, но на действующем карьере с использованием АКМ можно обеспечить значительное сокращение времени на подготовку новых горизонтов.

Необходимость сокращения времени на подготовку новых горизонтов

обуславливается изменениями в цветовой гамме добываемого мрамора в пределах отрабатываемого карьера, в связи с чем предприятия, реализуя продукцию, разделяют ее на группы. В данной ситуации сложно обеспечить в достаточном объеме подготовленными запасами все присутствующие расцветки мрамора, что приводит либо к потере предприятием крупных заказов, либо к реализации разной по цветовой гамме продукции в пределах одного заказа, что негативно сказывается на качестве готовых объектов и имидже предприятия.

Использование разработанной методики позволяет определять рациональные способы вскрытия горизонта с учетом горно-геологических условий и применяемого выемочно-погрузочного и камнерезного оборудования, с целью оперативного обеспечения изменяющихся потребностей рынка в сырье требуемого качества и декоративности.

Список литературы

1. Буянов Ю.Д., Сычев Ю.И. Российская камнедобыча в зеркале мировой статистики // Горный журнал. – 2008. – № 1. – С. 6–8.
2. «Каменная торговая площадка» – информационно-аналитический портал [Электронный ресурс]. – URL: www.Stonetorg.ru/art_stat (дата обращения: 10.07.09).
3. Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами: учеб. пособие / МГТУ. – Магнитогорск, 2003. – 103 с.
4. Караулов Н.Г., Доможиров Д.В., Долговых Ю.В. Обоснование способа вскрытия месторождения природного камня: учеб. пособие / МГТУ. – Магнитогорск, 2003. – 68 с.
5. «Торговое партнерство» – информационно-аналитический портал [Электронный ресурс]: 10.07.09 – Режим доступа к сайту: <http://www.otdelkakamnem.ru>
6. Бычков Г.В., Кокунин Р.В. Оптимальные способы вскрытия рабочих горизонтов на перспективных и эксплуатирующихся месторождениях природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / МГТУ. – Магнитогорск, 2007. – С. 83–92.
7. Долговых Ю.В. Систематизация способов вскрытия рабочих горизонтов при разработке месторождений мрамора // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – С. 26–33.
8. Першин Г.Д., Косарев Л.В. Рациональные условия совместной работы канатной пилы и баровой машины в составе добычного звена на мраморном карьере // Камень вокруг нас, г. Реж, Свердловская область. – 2009. – № 21. – С. 12–15.
9. Reis M. An underground transformation // Stone World. – 1994. – February.
10. Blasi P., Bradley F., Pill M. Apuan quarries // Survey, analysis and trends. – 1993. – P. 45–73.
11. Snyder Kim W. Community – Based Quarry Advisory Councils: There Time Has Come // Stone Rev. – 1993. – № 3. – P. 16–17.
12. Eastern Europe Has Slow and Fast Lanes, Too // Marmo Macchine International. – 1994. – № 5. – P. 66–88.
13. Синельников О.Б. Добыча природного облицовочного камня. – М.: Издательство РАСХН, 2005. – С. 245.
14. Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами: учеб. пособие / МГТУ. – Магнитогорск, 2003. – 103 с.
15. Socioeconomic interest of the natural stone for Europe // Roc Maquina. – 1992. – September. – P. 8–17.

16. Осколков В.А. Облицовочные камни месторождений СССР: справ. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 272 с.

References

1. Buianov Iu.D., Sychev Iu.I. Rossiiskaia kamnedobycha v zerkale mirovoi statistiki [Russian stone mining in the world mirror statistics]. *Gornyi zhurnal*, 2008, no. 1, pp. 6–8.
2. "Kamennaia torgovaia ploshchadka" – informatsionno-analiticheskii portal ["Stone trading marketplace" – information-analytical portal]. Available at: www.Stonetorg.ru/art_stat (accessed 10 July 2009).
3. Pershin G.D., Karaulov G.A., Karaulov N.G. Dobycha blokov mramora almazno-kanatnymi pilami: uchebnoe posobie [Mining blocks of marble diamond rope saws: study guide]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2003. 103 p.
4. Karaulov N.G., Domozhirov D.V., Dolgovykh Iu.V. Obosnovanie sposoba vskrytiia mestorozhdeniia prirodnogo kamnia: uchebnoe posobie [Justification of the method of opening deposit of natural stone: study guide]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2003. 68 p.
5. "Torgovoe partnerstvo" – informatsionno-analiticheskii portal ["The trading Partnership" – information-analytical portal], available at: www.otdelkakamnem.ru (accessed 10 July 2009).
6. Bychkov G.V., Kokunin R.V. Optimal'nye sposoby vskrytiia rabochikh gorizontov na perspektivnykh i ekspluatiruiushchikh prirodnogo kamnia [Optimal ways of autopsy working horizons on promising and exploited fields natural stone]. *Sbornik nauchnykh trudov "Dobycha, obrabotka i primeneniie prirodnogo kamnia"*. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007. pp. 83–92.
7. Dolgovykh Iu.V. Sistematizatsiia sposobov vskrytiia rabochikh gorizontov pri razrabotke mestorozhdenii mramora [Systematization ways of autopsy working horizons the in development of fields of marble]. *Sbornik nauchnykh trudov "Dobycha, obrabotka i primeneniie prirodnogo kamnia"*. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni G.I. Nosova, 2011. pp. 26–33.
8. Pershin G.D., Kosarev L.V. Ratsional'nye uslovia sovmestnoi raboty kanatnoi pily i baro-voi mashiny v sostave dobychnogo zvena na mramornom kar'ere [Rational conditions of teamwork cable saws and bars machine as a part a mining machine on the marble quarry]. *Kamen' vokrug nas, gorod Rezh, Sverdlovskaya oblast'*, 2009, no. 21, pp. 12–15.
9. Reis M. An underground transformation. *Stone World*, 1994, February.
10. Blasi P., Bradley F., Pill M. Apuan quarries. *Survey, analysis an trends*, 1993, pp. 45–73.
11. Snyder K.W. Community – Based Quarry Advisory Councils: There Time Has Come. *Stone Rev*, 1993, no. 3, pp. 16–17.
12. Eastern Europe Has Slow and Fast Lanes, Too. *Marmo Macchine International*, 1994, no. 5, pp. 66–88.
13. Sinel'nikov O.B. Dobycha prirodnogo oblitsovochnogo kamnia [Extraction of natural facing stone]. Moscow: Izdatel'stvo Rossiiskoi akademii sel'skokhoziaistvennykh nauk, 2005. 245 p.
14. Pershin G.D., Karaulov G.A., Karaulov N.G. Dobycha blokov mramora almazno-kanatnymi pilami [Mining blocks of marble diamond rope saws]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2003. 103 p.
15. Socioeconomic interest of the natural stone for Europe. *Roc Maquina*, 1992, September, pp. 8–17.
16. Oskolkov V.A. Oblitsovochnye kamni mestorozhdenii SSSR [Facing stones deposits in the USSR]. Moscow: Nedra, 1991. 272 p.

Об авторах

Караулов Николай Геннадьевич (Магнитогорск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38; e-mail: n_karaulov@mail.ru).

Белан Алексей Романович (Магнитогорск, Россия) – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38; e-mail: lexa13@list.ru).

About the authors

Nikolai G. Karaulov (Magnitogorsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Open Exploitation of Mineral Deposits, Nosov Magnitogorsk State Technical University (455000, Magnitogorsk, Lenina av., 38; e-mail: n_karaulov@mail.ru).

Aleksei R. Belan (Magnitogorsk, Russian Federation) – Nosov Magnitogorsk State Technical University (455000, Magnitogorsk, Lenina av., 38; e-mail: lexa13@list.ru).

Получено 28.08.2013