

В табл. 2 приведено экономическое сравнение вышеперечисленных вариантов интенсификации отработки Узельгинского месторождения.

По результатам экономического сравнения вариантов интенсификации твердения закладочных составов можно сделать вывод о том, что наименее затратным способом является применение разогретой воды в случае, если горное предприятие не имеет своей рудной базы и завода для производства негашеной извести. При наличии собственного известкового производства предпочти-

тельным является вариант использования бесцементных составов закладки.

Увеличение затрат на закладку выработанного пространства путем применения разогретой воды позволит получить снижение себестоимости добываемой руды за счет экономии на условно постоянных расходах на 17 руб./т. Расчетное увеличение рентабельности Узельгинского рудника составило 3,23%. В результате проведенного анализа увеличение производительности на 20% возможно при сокращении сроков твердения с 6 до 3 месяцев.

УДК 622.23.054.72

Г. Д. Першин, Г. А. Караулов, Н. Г. Караулов, А. Г. Караулов

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МРАМОРНОГО СЫРЬЯ

На современных российских предприятиях степень переработки добываемого мрамора в несколько раз ниже, чем на аналогичных зарубежных. Вследствие чего предприниматель вкладывает деньги в опытные карьеры и, не находя там выхода товарных блоков, прекращает дальнейшую разработку. А идеальных мраморных блоков без трещин не будет, так как вследствие геологических процессов, а именно тектонических нарушений разрывного и складчатого характера, в мраморе образуются трещины.

Из этого можно сделать вывод: что при добыче мрамора акцент надо ставить не только на выход товарных блоков, а на комплексное использование добываемого мраморного сырья. Только при таком подходе можно наиболее эффективно и с полной отдачей использовать мраморные месторождения.

Наиболее эффективная отработка месторождений обеспечивается за счет оптимизации параметров уступа, оптимизация параметров уступа возможна при использовании алмазно-канатных машин.

Ранее, при обосновании высоты уступа [4] с использованием алмазно-канатного оборудования, добывался максимальный выход товарных блоков только в карьере, но не учитывались требования, предъявляемые к блокам при обработке их в камнеобрабатывающем цехе. Например, эффективность распиловки блоков I и II групп, как показывают расчеты, на Воскресенском камнеобрабатывающем заводе будет на 50% выше, чем распиловка блоков III группы. На Воскресенском заводе сделаны замеры времени на производство плит-заготовок, и, как видно из графика на рис. 1

[7], чем больше объем блоков, тем меньше время требуется на производство одного и того же числа плит-заготовок. При пилении блоков меньше 3 м^3 будет получено $15,1 \text{ тыс. м}^2$ плит-заготовок, а при пилении блоков больше 3 м^3 (I и II групп) можно произвести $21,3 \text{ тыс. м}^2$. При норме прибыли на 1 м^2 облицовочной плиты, равной 500 руб., годовой экономический эффект превысит 3 млн руб.

При обосновании параметров системы разработки необходимо учитывать различную стоимость блоков в зависимости от их объема при их реализации, в соответствии с чем предлагается методика определения оптимальной высоты добычного уступа по критерию максимальной стоимости всех блоков, получаемых в процессе выемки, во взаимосвязи с применяемым в КОЦ оборудованием.

Например, если работа КОЦ направлена на выпуск слэбов, предприятие в первую очередь

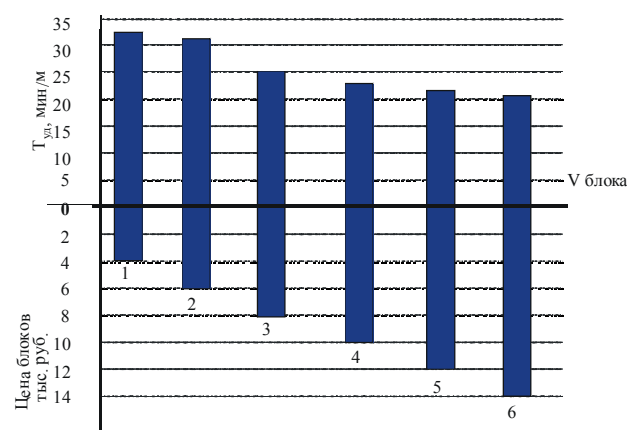


Рис. 1. Зависимости удельного времени распила блоков от их объема и цены

заинтересовано в обработке блоков объемом больше 3 м³, блоки меньших объемов в данном случае менее ценны. Таким образом, обосновывая высоту уступов и выбирая оптимальную, исходя из интегральной стоимости всех блоков, получаемых при разработке и переработке их, достигаем наибольший эффект как при реализации блоков, так и при дальнейшей их переработке на собственном предприятии.

Как уже отмечалось выше в разработанной ранее методике [4], обоснование оптимальной высоты уступа производилось без учета последующей переработки блоков, а именно не учитывалась разница в стоимости блоков в зависимости от их объема и соответствия группам ГОСТ 9479-98.

Для нахождения оптимального значения высоты монолита в разработанной методике в качестве критерия оптимизации принят минимум удельных затрат на добычу камня, который определяется из выражения

$$C_v = \frac{C_s \times S_m}{K_B} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_s – удельные затраты на резание камня, руб./м²; S_m – удельная площадь обнажения монолита в массиве, м⁻¹; K_B – коэффициент выхода товарных блоков из объема монолита.

Показатель удельных затрат на резание камня определяется по Г. Д. Першину из условия:

$$C_s = \frac{C_o}{K_{uo} \cdot V_n \cdot h} + B_n \cdot (C_v \cdot A_{yd} + C_u \cdot R_{yd} \cdot \gamma_a), \quad (2)$$

где C_o , C_v и C_u – стоимости соответственно работы алмазно-канатной машины, руб./ч; электроэнер-

гии, руб./кВт×ч; алмазов в инструменте, руб./кар.; K_{uo} – коэффициент использования оборудования во времени; V_n – скорость подачи инструмента на забой, м/ч; A_{yd} – удельная работа распиловки, Дж/м³; R_{yd} – удельный расход алмазного инструмента; γ_a – содержание алмазов в единице объема алмазонасущего слоя инструмента, кар.; h , B_n – высота и ширина щели пропила, м.

Связанная с протяженностью контактного взаимодействия «инструмент–порода» удельная площадь обнажения монолита в массиве S_m влияет на энергосиловые показатели, производительность резания и удельный расход алмазного инструмента, определяется по формуле

$$S_m = h^{-1} + l^{-1} + b^{-1}, \quad (3)$$

где h , l и b – высота, длина и ширина монолита, м.

Коэффициент выхода товарных блоков может быть представлен степенной функцией высоты монолита:

$$K_B = k_\sigma \cdot h^m, \quad (4)$$

где k_σ – коэффициент пропорциональности для пород средней прочности, $k_\sigma = 1,5 \pm 0,1$; m – показатель степени, для условий Коелгинского месторождения $0,01 < m < 0,6$.

Величина показателя степени m в формуле (3) определялась по значениям коэффициентов K_{B1} , K_{B2} выхода товарных блоков при высотах монолита h_1 и h_2 (м) в диапазоне $h=1-12$ м с использованием соотношения

$$m = \frac{\ln(K_{B1}/K_{B2})}{\ln(h_1/h_2)}. \quad (5)$$

Установлено, что значение показателя m зависит не только от природной трещиноватости и высоты монолита, но и от объема минимального товарного блока. Показатель m увеличивается с 0,10 до 0,35 (рис. 2), в первом случае учитывались блоки 1, 2 и 3-й группы, во втором – только первой группы (параметры трещин и высота уступа одинаковые).

Анализ зависимостей свидетельствует о возрастании коэффициента выхода товарных блоков при увеличении размеров монолита.

Для определения оптимальной высоты монолита из условия минимума удельных затрат на добычу дифференцируем составляющие выражения (1) по высоте монолита и подстановкой их в условие $C_v/\partial h = 0$. Получаем следующее дифференциальное уравнение:

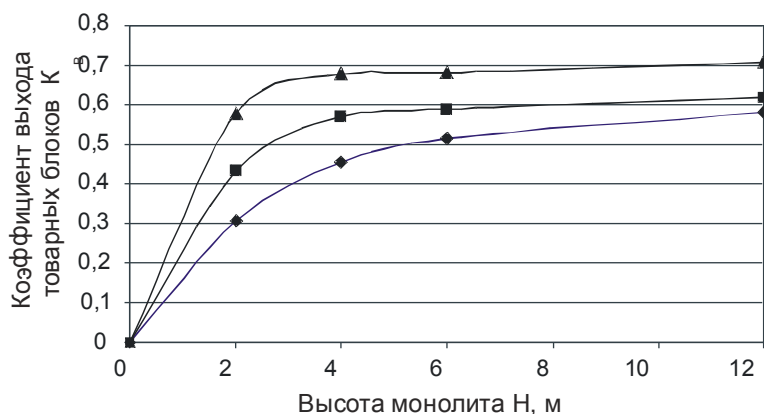


Рис. 2. График зависимости коэффициента выхода товарных блоков от высоты монолита (H) и различной группы блоков по ГОСТ 9479-98:

- ◆ – блоки I группы ($m=0,35$), ■ – блоки I, II группы ($m=0,02$),
- ▲ – блоки I, II, III группы ($m=0,01$)

$$\frac{\partial C_s / \partial h}{C_s} = \frac{\partial K_B / \partial h}{K_B} - \frac{\partial S_m / \partial h}{S_m} \quad (6)$$

После математических преобразований полученное уравнение можно представить в виде

$$H^3 - (h_s^{on})^2 \cdot \left(\frac{1+n}{1-n}\right) \cdot H = 0 \quad (7)$$

Решение (7) дает следующее оптимальное соотношение:

$$H_v^{on} = h_s^{on} \cdot \left(\frac{1+n}{1-n}\right)^{0,5} \quad (8)$$

где оптимальная высота пропила h_s^{on} определяется из условия

$$\left(h_s^{on}\right)^{-1} = k_n \cdot \sigma_n \left[\mu \cdot k_h \cdot k_e \cdot k_{uo} \times \right. \\ \left. \times V_p \cdot C_o^{-1} \cdot \left(C_o + \gamma_a \cdot C_u \cdot \frac{R_{y\partial}}{A_{y\partial}} \right) \right]^{0,5} \quad (9)$$

Для численного расчета по формуле (9) использованы отечественные и зарубежные данные о расходе алмазного инструмента и энергии в зависимости от силового режима резания и об оценке статей эксплуатационных затрат при распиловке канатными пилами пород различной прочности. Анализ стоимостных параметров свидетельствует, что определяющими являются расходы на алмазный инструмент, заработную плату и амортизацию камнерезного оборудования. Именно

отношение стоимостей работы алмазно-канатной машины и алмазов в инструменте (C_0/C_u) в наибольшей степени влияет на конечные результаты исследуемой модели. Причем величины (C_0/C_u) существенно различаются по отечественным (0,5–1,0 кар./ч) и зарубежным (2,0–2,5 кар./ч) данным из-за различий уровней заработной платы и цен на алмазный инструмент. Затраты на потребление энергии невелики (по сравнению со стоимостью алмазного инструмента), и в расчетах их можно не учитывать, приняв $C_0/C_u \approx 0$.

Далее из рационально сочетающихся размеров монолитов определяются оптимальные по условию минимума удельных затрат. Определение удельных затрат на добычу C_v для монолитов разных размеров по разработанной методике (рис. 3) свидетельствует о наличии зоны минимума удельных затрат и позволяет установить оптимальную высоту монолита. Для условий Коелгинского месторождения оптимальная высота монолита находится в пределах 7–9 м (см. рис. 3).

Из графика следует, что оптимальная высота уступа, рассчитанная с учетом последующей переработки блоков, увеличивается с интервала 6,0–8,0 м до 7–9 м.

При таком подходе оптимальные параметры уступа

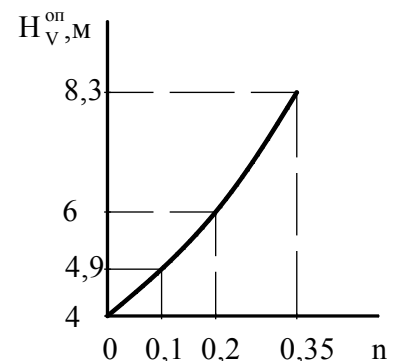


Рис. 3. График зависимости оптимальной высоты добычного уступа от показателя n

Варианты переработки серых мраморов

Виды сырья и отходов	Варианты				
	существующие	предлагаемые			
	I	II	III	IV	V
1. Блоки по ГОСТ – 20%	Алмазно-дисковый станок	Штрипсовый станок	Многоканатный станок		
2. Блоки по ТУ; V=1–2 м³ – 30%	Продажа по 3,5 тыс.руб./м³	Алмазно-дисковый станок			
3. Глыбы; V=1–0,4 м³ – 20%	Вывозятся в отвал	Алмазно-дисковый станок «Алмаз-12м», г.Полтава	Алмазно-дисковый станок с фиксатором блоков ST/1000; ST/725	Дробление бутобоем и отправка на камнекольный пресс	Производство искусственных блоков по ГОСТ 21-40-84
4. Окол; V=0,4–0,1 м³ – 12%		Дробление и производство брекчиевидных и мозаичных плит на примере выпускаемой продукции фирмой «Эталон», г.Магнитогорск	Дробление и производство прессованных и формованных плит по технологии «Лонжнотти» (окупаемая при больших объемах)	Камнекольный пресс. Изделия с колотой фактурой	
5. Щебень; d=5–70 мм – 10%				Дробление щебня на муку и продажа ДРСУ для асфальтобетонной смеси	

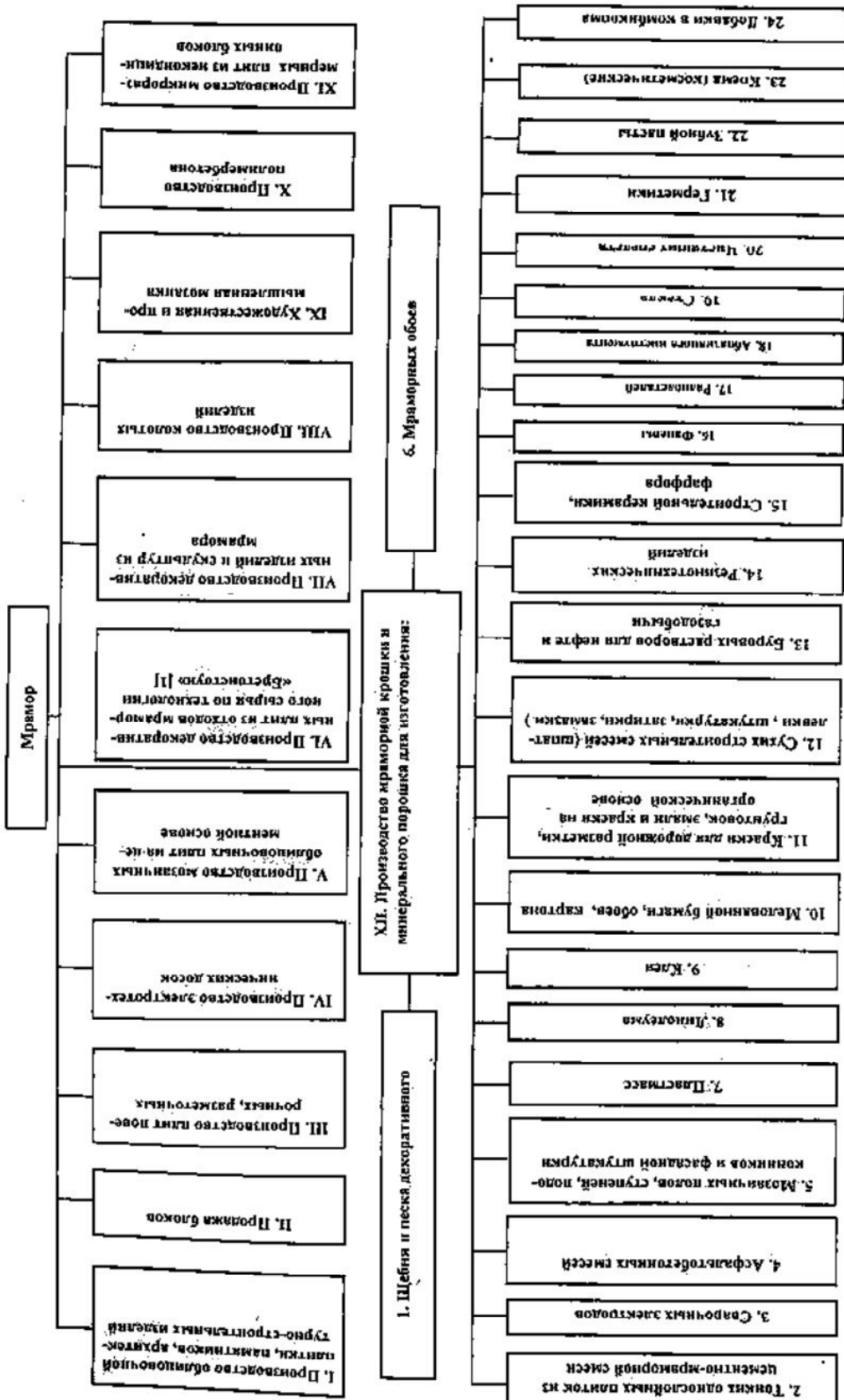


Рис. 4. Варианты использования мраморного сырья

будут обеспечивать максимальную эффективность функционирования цепочки КАРЬЕР–КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ПРОИЗВОДСТВО. При этом нужно учитывать спрос на определенный вид продукции. При этом необходимо рассматривать параметры системы разработки, исходя из стоимости блоков по группам ГОСТ 9479-98. Задача комплексного использования мрамора должна обеспечивать не только максимум добываемого блочного сырья, но и учитывать максимальную прибыль от реализации готовой продукции при переработке всей вынудой горной массы. При добыче мы получаем I–III группы по ГОСТ-9479-98, некондиционные блоки, глыбы, окол и щебень, в соответствии с чем нами разработана методика, обеспечивающая выбор необходимого оборудования для распиловки и обработки каждой из приведенных групп. В **таблице** отражены все виды сырья и варианты его переработки. Представленная методика позволяет выбирать оптимальную схему для всех групп с учетом горно-геологических возможностей месторождения и конъюнктуры рынка. Например, некондиционные блоки можно распилить на мелкозернистую плитку, сделать колотый камень либо переработать на щебень и крошку. Очевидно, что переработка на крошку потребует значительных затрат и не всегда приведет к получению прибыли.

Проведя экономическое сравнение распиловки блоков I и II групп, следует, что эффективнее распиливать блоки на многоканатных станках [6]. Блоки III группы и некондиционные эффективно распиливать на алмазно-дисковых станках. Глыбы можно распиливать на малогабаритном станке типа РС-44. Также глыбы можно раскалывать на камнекольном прессе с установкой его в карьере. Окол можно использовать для производства фасадных панелей, изделий с колотой фактурой, для производства брекчиевидных, мозаичных, а также искусственных блоков. Исследование экономической эффективности производства изделий с колотой фактурой на прессе фирмы «МЕС» (с мощностью раскола 24 т и высотой раскола до 550 мм), который целесообразно

иметь на карьере, так как он не требует воды и тепла, подтверждает возможность окупить станок за 6 месяцев. Чисто текущая стоимость проекта за 7-летний период составит 5,9 млн рублей.

Объемы окола и щебня на Редутовском карьере для производства мозаичных плит сопоставимы с объемами фирмы «Эталон», г. Магнитогорск, поэтому данная линия может быть использована и на Редутовском карьере.

Также существует методика использования мраморных отходов на дробление и производство прессованных и формованных плит по технологии «Лонженотти» [1]. Производительность самой низкой производственной технологии предусматривает 52 м², то есть в год производительность будет 146 тыс. м² и с выходом 17,6 м² с 1 м³, следовательно, для полноценной работы линии требуется 1,8 млн м³. Приходим к выводу, что эта технология окупаема при очень больших объемах, а значит, в нашем случае непригодна. То же самое относится к производству искусственных блоков.

На основе разработанных методик можно повысить эффективность использования мраморных месторождений за счет повышения товарности добываемых блоков и максимального использования всей добываемой горной массы в карьере. Экономический эффект от внедрения рассмотренных вариантов переработки отходов мраморного сырья составит 8 млн рублей в год применительно к Редутовскому месторождению. Однако спектр использования мраморных отходов очень широк и не ограничивается рассмотренным. Это изготовление чистящих паст, порошков и полировочных составов, для питательных субстратов гидропоники и раскисления почв, для тушения пожаров и посыпки рубероидных покрытий, в качестве фильтров водоочистных сооружений и добавки в комбикорма. На **рис. 4** представлено 33 варианта использования мраморного сырья. Из них для переработки отходов серых мраморов рассмотрено только 18 вариантов, которые не требуют чисто белого мрамора [3].

Библиографический список

1. Волуев И.В., Сычев Ю.И., Ткач В.Р. Безотходная технология добычи и обработки природного камня. М.: Недра, 1994. 192 с.
2. ГОСТ 9479-84. Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1987.
3. Караулов Г.А., Караулов А.Г., Чернов Э.В. Пути повышения эффективности освоения Редутовского месторождения // Добыча, обработка и применение природного камня: Сб. науч. тр. Магнитогорск, 2005. С. 10–20.
4. Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами: Уч. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2003. 103 с.
5. Синельников О.Б. Конъюнктура производства и потребления природного облицовочного камня «Атолл». М., 1992.
6. Караулов А.Г. Оценка экономической эффективности распиловки мраморных блоков // Добыча, обработка и применение природного камня: Сб. науч. тр. Магнитогорск, 2006.
7. Памшев А.Н., Карасев О.Ю. Определение оптимальных размеров блоков природного камня при распиле на ортогональных станках // Горный журнал. 2001. № 3.