Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIII, вып. 1, 1972 г.

УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРЕ

К. И. Катая, Н. П. Ершов, А. Ф. Богачев, В. В. Плехов

Как показал анализ работы Ковдорского карьера за последние 5 лет, объем взрываемого блока изменялся в широких пределах (от 10 до 130 тыс. $м^3$), причем среднее его значение по породе уменьшилось на 22,4 тыс. $м^3$ (с 55,6 до 33,2 тыс. $м^3$), а по руде — на 28 тыс. $м^3$ (с 51,5 до 23,5 тыс. $м^3$). Значительно колебались также переходящие запасы взорванной горной массы: максимальный ее запас в 1967—1968 гг. достигал 780—800 тыс. $м^3$, а в 1969 г. составил 840 тыс. $м^3$, в то время как минимальный запас в 1965 г. был равен 270 тыс. $м^3$, а в 1967 и 1968 гг. составил соответственно 520 и 500 тыс. $м^3$.

Научной теорией управления запасами взорванной горной массы должны обосновываться: объем массового взрыва (единичное пополнение запасов) и частота взрывания; объем взрываемых блоков, величина постоянного переходящего запаса взорванной горной массы. Обоснование этих параметров должно основываться на учете всех затрат, зависящих от способа управления запасами. Так, от объема массового взрыва q_1 зависят (рис. 1): C_1 — убытки от простоев оборудования в период подготовки и производства массового взрыва, *руб/тыс.* $м^3$; C_2 — убытки от консервации средств при создании запаса взорванной горной массы, *руб/тыс.* $м^3$; C_3 — затраты на чистку и восстановление скважин, *руб/тыс.* $м^3$; C_4 — затраты на приведение оборудования и коммуникаций в работоспособное состояние после взрыва, *руб/тыс.* $м^3$; C_5 — суммарные затраты на взрыв, *руб/тыс.* $м^3$.

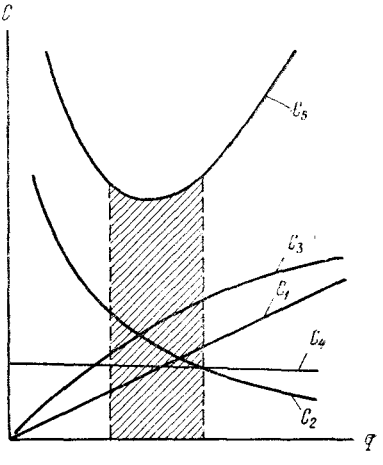


Рис. 1. Характер изменения различных видов затрат в зависимости от объема массового взрыва

Если найти объем взрыва, соответствующий условию

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = C_5 \longrightarrow \min, \qquad (1)$$

то тем самым и будет обоснован один из параметров управления запасами взорванной горной массы.

Рассмотрим каждый вид этих затрат более подробно. Удельные затраты

$$C_1 = \frac{ЦР}{Tq_1}, \qquad (2)$$

где $Ц$ — стоимость простоя карьера в целом в течение смены, руб; P — норматив времени на подготовку и производство массового взрыва, *ч*; T — продолжительность смены, *ч*; q_1 — объем массового взрыва, тыс. $м^3$.

Если средний объем массового взрыва равен q_1, то в течение года в среднем поддерживается запас горной массы, равный $q_1/2$. Тогда удельные затраты на поддержание запаса горной массы в течение года

$$C_2 = \frac{q_1}{2} S_2 \varepsilon, \qquad (3)$$

где S_2 — стоимость рыхления 1 $м^3$ горной массы, *руб*/$м^3$; ε — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; Q — производительность карьера по скальной горной массе, тыс. $м^3$/*год*.

С увеличением объема массового взрыва возрастает время стояния скважин, приводящее к росту числа их обрушений, длины заиливания и т. д. Это, в свою очередь, ведет к увеличению затрат C_3 на восстановление потерянных скважин.

Для определения связи между объемом массового взрыва и затратами от потерь скважин на Ковдорском карьере были обработаны фактические данные за два года (1968—1969 гг.). В процессе обработки данных фиксировалось время начала и окончания бурения блока, его объем, объем чистки скважин и дата взрыва. Всего были проанализированы данные по 54 взрывам.

Поскольку четкой зависимости $C_3 = f(q_1)$ выявить не удалось, сначала была найдена зависимость $C_3 = \varphi(t)$, где t — общее время стояния скважин. Данные нанесены на график (рис. 2), где по оси абсцисс отме-

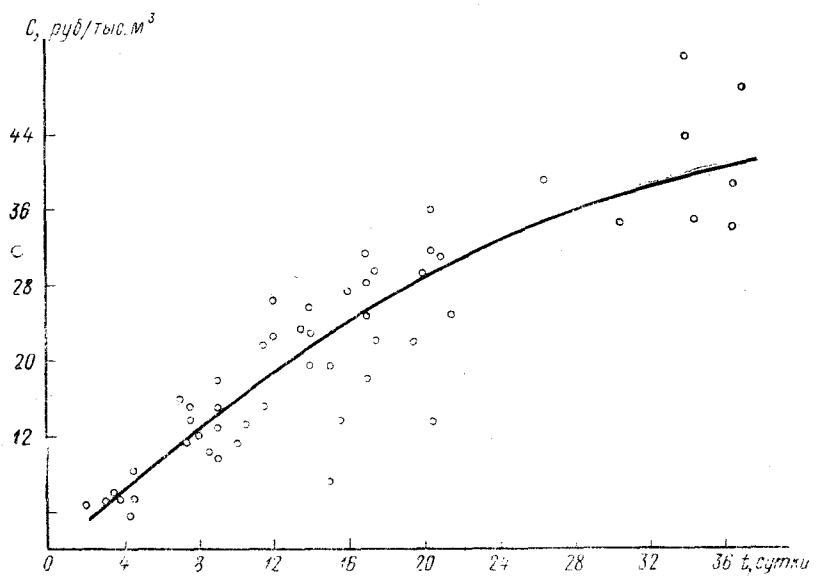


Рис. 2. Зависимость удельных затрат на восстановление скважин от времени их стояния

чено общее время стояния скважин (факториальный признак), а по оси ординат — удельная стоимость чистки и добуривания скважин (результативный признак). Характер этой зависимости был установлен сопоставлением численных значений коэффициента корреляции r и корреляционного отношения τ, вычисляемых по известным формулам. Вычисленный коэффициент корреляции равен 0,85, а корреляционное отношение 0,89, т. е. $\tau > r$, что указывает на криволинейную зависимость $C_3 = \varphi(t)$.

Если при равномерном возрастании факториального признака t наблюдается более или менее ускоренное возрастание результативного признака (см. рис. 2), то статистическая связь между признаками характеризуется уравнением параболы

$$\bar{C}_t = a + bt + ct^2, \tag{4}$$

где a, b и c — параметры уравнения.

Зависимость удельной стоимости чистки и добуривания скважин от времени их стояния для Ковдорского карьера может быть представлена уравнением

$$C_3 = -0{,}24 + 1{,}82t - 0{,}019t^2. \tag{5}$$

При параболической зависимости вводят еще параболический коэффициент связи, который получился равным 0,92. Близость параболического коэффициента к единице указывает на правильно выбранный вид зависимости. В этой полученной зависимости

$$t = t_б + t_о, \tag{6}$$

где $t_о$ — время от окончания бурения до момента массового взрыва, сутки; $t_б$ — время стояния скважин во время обуривания блока, принимаемое равным половине времени бурения блока, т. е.

$$t_б = \frac{q_1}{2Q_{ст}}, \text{ сутки;}$$

$Q_{ст}$ — суточная производительность станка, $м^3$.

После подстановки значения t в выражение (5) получим

$$C_3 = -0{,}24 + 1{,}82\left(\frac{q_1}{2Q_{ст}} + t_о\right) - 0{,}019\left(\frac{q_1}{2Q_{ст}} + t_о\right)^2. \tag{7}$$

Для условий Ковдорского карьера на основании практических данных $Q_{ст} = 4$ тыс. $м^3/сутки$; $t_о = 8$ суток. Тогда окончательная зависимость $C_3 = f(q_1)$ для Ковдорского карьера примет вид

$$C_3 = 13{,}1 + 0{,}19\ q_1 - 0{,}0003\ q_1^2. \tag{8}$$

Удельные затраты на приведение оборудования и коммуникаций в работоспособное состояние после массового взрыва

$$C_4 = \frac{t_{ср} S_4 k}{T q_1}, \tag{9}$$

где $t_{ср}$ — средний простой экскаваторов после массового взрыва, маш.-$ч$; S_4 — стоимость простоя одного экскаватора в течение смены, руб.; k — коэффициент, учитывающий простой станков и другого оборудования, приходящегося на один экскаватор, после массового взрыва; T — продолжительность смены, $ч$.

Суммарные удельные затраты, связанные с производством массового взрыва,

$$C_5 = \frac{ЦР}{Tq_1} + \frac{q_1 S_2 \varepsilon}{2Q} + 13{,}1 + 0{,}19q_1 - 0{,}003q_1^2 + \frac{t_{ср} S_4 k}{Tq_1}. \qquad (10)$$

Продифференцировав выражение (10) по q_1 и исследовав функцию на max и min, найдем q_1, приравняв к нулю первую производную

$$\frac{dC_5}{dq_1} = -\frac{ЦР}{Tq_1^2} + \frac{S_2 \varepsilon}{2Q} + 0{,}19 - 0{,}0006q_1 - \frac{t_{ср} S_4 k}{Tq_1^2} = 0. \qquad (11)$$

Применительно к условиям Ковдорского карьера $Ц = 2247$ руб.; $P = 1{,}34$ *ч*; $t_{ср} = 7{,}06$ маш.-*ч*; $T = 8$ *ч*; $S_2 = 0{,}493$ *руб/м*^{3}; $\varepsilon = 0{,}15$; $Q = 6$ млн. *м*^{3}*/год*; $S_4 = 100{,}44$ *руб/смену*. Подставляя эти значения в выражение (11), получаем $q_1 = 180$ тыс. *м*^{3}.

Число массовых взрывов в течение года

$$m = \frac{Q}{q_1} = \frac{6\,000\,000}{180\,000} = 34. \qquad (12)$$

Не менее важно также определить оптимальный объем взрываемого блока и, следовательно, число одновременно взрываемых блоков. По этому вопросу в литературе нет строгой методики, на практике же число одновременно взрываемых блоков берется на основании опыта.

Затраты, зависящие от числа одновременно взрываемых блоков, подразделяются на две группы. Первая — потери от простоя горнотранспортного оборудования при производстве взрыва. Чем больше количество одновременно взрываемых блоков, тем больше экскаваторов придется отгонять от мест взрыва и тем больше будут простои горнотранспортного оборудования. Удельные затраты в этом случае

$$C_6 = \frac{S_4 k (t_1 n_1 + t_2 n_2)}{Tq_0}, \qquad (13)$$

где t_1 — время простоя экскаватора, в забое которого взрывают, *ч*; n_1 — число экскаваторов, в забое которых взрывают; q_0 — объем взрываемого блока, тыс. *м*^{3}; t_2 и n_2 — соответственно время простоя, *ч*, и число экскаваторов, в забое которых не взрывают.

Число экскаваторов, в забое которых взрывают, можно приравнять к числу одновременно взрываемых блоков

$$n_1 = \frac{q_1}{q_0}. \qquad (14)$$

Следовательно,

$$n_2 = n - \frac{q_1}{q_0}, \qquad (15)$$

где n — общее число рабочих экскаваторов.

Тогда

$$C_6 = \frac{S_4 k \left[t_1 \frac{q_1}{q_0} + t_2 \left(n - \frac{q_1}{q_0} \right) \right]}{Tq_0},$$

или

$$C_6 = \frac{S_4 k q_1 (t_1 - t_2)}{Tq_0^2} + \frac{S_4 k t_2 n}{Tq_0}. \qquad (16)$$

Второй вид затрат — рассмотренные уже затраты на восстановление обрушенных и заиленных скважин. С увеличением объема блока эти затраты возрастают, так как увеличивается время стояния скважин и растет процент выхода их из строя. Эта группа затрат определена ранее [см. формулу (8)].

Минимальная сумма этих двух видов затрат и будет отвечать оптимальной величине взрываемого блока:

$$C_{\text{сум}} = C_3 + C_6 \longrightarrow \min; \tag{17}$$

$$C_{\text{сум}} = \frac{S_4 k q_1 (t_1 - t_2)}{T q_0^2} + \frac{S_4 k t_2 n}{T q_0} + 13{,}1 + 0{,}19 q_0 - 0{,}0003 q_0^2. \tag{18}$$

Продифференцировав выражение (18) по q_0 и исследовав функцию на max и min, найдем q_0, приравняв к нулю первую производную

$$\frac{dC_{\text{сум}}}{dq_0} = -\frac{2S_4 k q_1 (t_1 - t_2)}{T q_0^3} - \frac{S_4 k t_2 n}{T q_0^2} + 0{,}19 - 0{,}0006 q_0 = 0. \tag{19}$$

Для условий Ковдорского карьера: $S_4 = 100{,}44$ *руб*; $k = 1{,}3$; $q_1 = 180$ тыс. $м^3$; $t_1 = 2$ *ч*; $t_2 = 1$ *ч*; $T = 8$ *ч*; $n = 10$ экскаваторов. Подставив эти величины в уравнение (19), получим $q_0 = 45$ тыс. $м^3$.

Количество одновременно взрываемых блоков

$$R = \frac{180}{45} = 4 \text{ блока}.$$

Величина переходящего запаса взорванной горной массы q_2 зависит от потерь, связанных с простоями горнотранспортного оборудования из-за отсутствия взорванной горной массы C_7 и расходов C_8, связанных с консервацией средств на поддержание постоянного среднего запаса в течение года, т. е.

$$q_2 = f(C_7;\ C_8).$$

Убытки за год, связанные с простоями одного экскаватора и обслуживающего его горнотранспортного оборудования из-за отсутствия взорванной горной массы,

$$C_7 = Ц' \psi, \tag{20}$$

где $Ц'$ — стоимость машино-смены экскаватора и обслуживающего его оборудования, руб.; ψ — функция, выражающая зависимость числа смен простоев одного экскаватора в течение года от величины среднего запаса горной массы, маш.-смен/тыс. $м^3$.

Проведенная статистическая обработка данных показала, что сравнение коэффициента корреляции и корреляционного отношения указывает на криволинейный вид зависимости ($r = -0{,}6$; $\tau = 0{,}98$).

В дальнейшем было найдено, что она имеет вид обратной зависимости

$$\psi = \frac{A}{q_2}, \tag{21}$$

где A — эмпирический коэффициент, получаемый обработкой статистических данных.

Для рассмотренного карьера $A = 1\,040\,000$, если q_2 измеряется в тысячах кубических метров.

Затраты, связанные с поддержанием постоянного переходящего запаса взорванной горной массы в течение года,

$$C_8 = q_2 S_2 \varepsilon.$$

Суммируя данные затраты и беря производную по q_2, получим

$$\frac{d(C_7 + C_8)}{dq_2} = -\frac{Ц'A}{q_2^2} + S_2\varepsilon. \qquad (22)$$

Приравнивая это выражение к нулю и решая относительно q_2, получим

$$q_2 = \sqrt{\frac{Ц'A}{S_2\varepsilon}}. \qquad (23)$$

Подставляя данные Ковдорского карьера, получим

$$q_2 = \sqrt{\frac{150 \cdot 1\,040\,000}{0{,}493 \cdot 0{,}15}} = 45{,}0 \text{ тыс. } м^3.$$

Итак, основные параметры системы управления запасами взорванной горной массы на Ковдорском карьере следующие: объем одного массового взрыва должен составлять около 180 тыс. $м^3$, объем взрываемого блока — около 45 тыс. $м^3$ и постоянный переходящий запас взорванной массы на один экскаватор — около 45 тыс. $м^3$.