

УДК 622.271.3.001.63

**Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
С КРАТНОЙ ПЕРЕВАЛКОЙ  
РАЗНОПРОЧНЫХ ПОРОД**

*Предложена пространственная модель экскаваторно-отвального технологического комплекса разработки разнопрочных пород, позволяющая выбрать эффективные схемы организации работы вскрышного и добычного оборудования на смежных участках и установить оптимальные параметры схем экскаваций с учетом взрывной подготовки вскрышных и угольных блоков.*

*Ключевые слова: экскаваторно-отвальный комплекс, разнопрочные породы, схема экскавации, драглайн, добычные работы, вскрышные работы, взрывные работы, вскрытие..*

---

**В** современных рыночных условиях внедрение экскаваторно-отвальных технологических комплексов на отработке надугольных вскрышных уступов с применением мощных драглайнов сдерживается большими сроками их окупаемости. В результате выполненных исследований [1] установлено, что эффективность разработки разнопрочных пород экскаваторно-отвальным комплексом с кратной перевалкой на пластах малой мощности (4÷15 м) существенно повышается с увеличением высоты вскрышного уступа по схеме с опережающей выемкой приконтурной части нижнего подступа. Еще большее снижение коэффициента переэкскавации, с 14 до 19 %, обеспечит регулирование ширины заходок между подступами вскрышного уступа. Применение электрофицированного железнодорожного транспорта на добыче пластов средней мощности (до 30÷40 м) в этих схемах обеспечивается формированием транспортного горизонта с двумя забойными путями на промежуточной площадке (рис. 1). При поочередном использовании пары мощных драглайнов на смежных участках и отработки части пород нижнего подступа через одну заходку экскаваторно-автомобильно-отвальным комплексом достигается увеличение объема бестранспортной вскрыши до 40 % и добычи полезного ископаемого до 25 % [2]. Следовательно, резервы повышения эффективности применения экскаваторно-отвальных комплексов с кратной перевалкой разнопрочных пород существенно зависят от организации вскрышных, добычных и буровзрывных работ.

При проектировании оптимальных параметров экскаваторно-отвальных технологических комплексов организация работы драглайнов в пространстве и во времени учитывалась в работе [3]. Созданная методика по выбору оптимальных вариантов организации работ вскрышных экскаваторов основана на скорости подвигания забоев в соответствии с заданной производительностью карьера.



В работе [4] установлена взаимосвязь параметров системы разработки от длины фронта работ. Основанием для дальнейшего совершенствования известных методик послужили результаты несоответствия проектных параметров заданной производственной мощности карьеров, что в реальных условиях производства приводило к недоиспользованию по производительности мощных драглайнов.

Для повышения качества и эффективности проектных и управляющих решений разработана методика расчета и составлен алгоритм оптимизации параметров экскаваторно-отвального технологического комплекса с кратной перевалкой разнопрочных пород [5]. Реализация алгоритма позволяет проводить оценку соответствия расчетных параметров возможных технологических схем организации вскрышных, добычных и буровзрывных работ условию обеспечения регламентируемой производительности карьера по добыче полезного ископаемого при реальных объемах бестранспортной вскрыши в конкретных горнотехнических условиях.

Оптимизация параметров схем экскавации для исследуемых вариантов организации работы вскрышного и добычного оборудования обеспечивается на основе объемного моделирования. Последовательность выполнения вскрышных и добычных работ зависит от длины фронта работ и определяет объем подготовленных запасов угля. При этом существенное влияние на вместимость внутреннего отвала и варианты организации работы вскрышного и добычного оборудования оказывает схема вскрытия добычной зоны через число транспортных выходов и направление грузопотоков угля.

Рассматривались следующие схемы организации работы вскрышного и добычного оборудования: блок вскрыт одним фланговым выездом (схема I); на каждом из двух участков рабочий ход драглайнов и добычного комплекса осуществляется от флангов к центру карьера (II); вскрышные и добычные работы рассредоточены и производятся поочередно в каждом из двух блоков карьера с одним центральным выездом (III) или участков с самостоятельными центральными выездами (IV); каждый участок карьера вскрыт с обоих флангов, после начала отработки очередной вскрышной заходки добыча оставшегося на каждом участке вскрытого угля производится с противоположной стороны (V). По схемам I—V драглайны работают в паре с кратной перевалкой. Если расчетное их количество получается нечетным, то основной вскрышной уступ одного из участков обрабатывается одним драглайном за два прохода по заходке VI.

Впервые при обосновании параметров экскаваторно-отвальных комплексов выполняется проверка выполнения регламентируемой производительности карьера по углю с учетом обеспечения норматива по подготовленным запасам, которое зависит от количества и продолжительности циклов с момента отработки вскрышной заходки до завершения выемки вскрытого пласта с учетом ремонтов, вынужденных простоев и безопасных условий работы всего задействованного оборудования.

Пусть  $H$  — высота основного вскрышного уступа, м;  $\varepsilon_0$  — величина резерва по ускорению подвигания забоев пары драглайнов;  $\eta_0$  — загруженность отвального драглайна по отношению к вскрышному драглайну;  $\eta_{од}$  — допустимая

величина загруженности отвального драглайна по отношению к вскрышному драглайну;  $Q_v$  — расчетная производительность по углю участка работы пары драглайнов по схемам I—IV, т;  $Q_{y.cp}$  — скорректированная производительность по углю участка работы пары драглайнов по схемам I—IV, т;  $Q_{y.ц}$  — возможная производительность по углю участка работы пары драглайнов в зависимости от организации взаимосвязи вскрышных, добычных и буровзрывных работ по схемам I—IV, т;  $Q'_{y.ц}$  — то же для схемы V;  $Q_{ц}$  — то же для одного драглайна, т;  $n$  — количество участков совместной работы пары драглайнов;  $L_y$  — длина добычного фронта участка работы пары драглайнов;  $L_k$  — длина добычного фронта работы карьера, м;  $L$  — длина добычного фронта участка работы одного драглайна;  $Q_k$  — проектная производительность карьера по углю, т;  $Q$  — расчетная производительность по углю участка работы одного драглайна,  $Q_{cp}$  — скорректированная производительность по углю участка работы одного драглайна, т;  $t_r$  — скорость подвигания забоя драглайнов за  $T_1$  суток непрерывной работы до ППР, м;  $T_x$  — продолжительность отработки заходки драглайном, сут;  $t_1$  — продолжительность ППР, сут;  $k_y$  — удлинение фронта работы на вскрыше;  $T_{ц}$  — продолжительность цикла по отработке заходки от начала вскрышных до завершения добычных работ по схемам I и II;  $l_6^b, l_6^d$  — регламентируемое правилами технической эксплуатации безопасное расстояние соответственно между драглайнами, добычным комплексом и отвальным экскаватором с учетом производства буровых работ по углю, м;  $T_d$  — продолжительность отработки добычной заходки на одном из участков, сут;  $T_{m1}, T_{m2}$  — продолжительность цикла по отработке основного уступа соответственно по схемам III и IV, сут;  $T_{пз}$  — продолжительность отработки последней в году неполной добычной заходки на первом условном участке длиной  $L_y$ , сут;  $T_n$  — продолжительность отработки неполной добычной заходки на втором условном участке длиной  $L_y$ , сут;  $T_{п}$  — продолжительность отработки последней в году неполной добычной заходки на втором условном участке, сут;  $l_{дс}$  — суточное скорость подвигания забоя добычного комплекса, м;  $t_0$  — продолжительность отработки добычной заходки на встречном рабочем ходу вскрышного комплекса направлении с момента начала проходки вскрышной заходки, сут;  $t_{п0}$  — продолжительность отработки добычной заходки участка в направлении рабочего хода вскрышного комплекса, сут;  $T_{пз.в}$  — длительность отработки последней в году неполной вскрышной заходки на участке, сут;  $T_{пр}$  — продолжительность простоя драглайнов после окончания отработки заходки и перегона, сут;  $T_6$  — время, разделяющее в пространстве вскрышной и отвальной драглайны, сут;  $B_1$  — время отработки торца драглайном, сут;  $B_2$  — отставание во времени, предшествующее началу добычных работ после прохода драглайнами контура залежи, сут;  $k_1, k_2$  — регламентируемое правилами технической эксплуатации безопасное расстояние между вскрышным драглайном и буровыми станками на бурении скважин по нижнему вскрышному подступу, а также между последними и отвальным драглайном, м;  $k_{6д}$  — расстояние, на котором добычного комплекс, эксплуатируемый на встречном рабочем ходу драглайнов направлении, должен закончить проходку заходки до подхода последних за время (сут)  $W_6$ , м.

Пространственная модель оптимизации параметров экскаваторно-отвального технологического комплекса разработки неоднородных разнопрочных пород имеет вид:

$$H \rightarrow \max \quad \text{при } \eta_0 \rightarrow \eta_{\text{од}}, \quad 0,85 \leq \eta_{\text{од}} \leq 1, \quad Q_{y,\text{cp}} \geq Q_y; \quad (1)$$

$$\text{если } L_y := L_y + \Delta L_y, \text{ то } \quad Q_y = f(L_y) \text{ при } L_y \leq L_k, \quad Q_y \leq Q_k; \quad (2)$$

$$H := H + \Delta H \text{ при } \eta_0 < \eta_{\text{од}}, \quad H := H - \Delta H \text{ при } \eta_0 > 1, \quad H := H \text{ при } \eta_0 = \eta_{\text{од}}; \quad (3)$$

$$Q_{y,\text{cp}} = f(\varepsilon_0) \text{ при } \quad Q_{y,\text{cp}} > Q_y, \quad \varepsilon_0 = 0,5(3 - \eta_0); \quad (4)$$

$$T_x = T_2(T_1 + t_1) + T_1 l_{\tau}^{-1}(L_y k_y - l_{\tau} T_2) \quad \text{при } T_2 = \text{int} \frac{L_y k_y}{l_{\tau}}; \quad (5)$$

$$T_u = T_2(T_1 + t_1) + T_1 l_{\tau}^{-1}(l_{\sigma}^g + l_{\sigma}^o + L_y k_y - l_{\tau} T_2); \quad T_{\sigma} = T_u - T_1 l_{\tau} [L_y(k_y - 1) + l_{\sigma}^b + l_{\sigma}^o];$$

$$T_{m1} = T_u + T_1 l_m (l_{\sigma}^g + 2l_{\sigma}^o) - T_x (0,5L_k - l_{\sigma}^o)(0,5L_k)^{-1};$$

$$\text{если } L_m = 0,5L_k \pm \Delta L_m, \quad L_y + \Delta L_y \leq L_m, \text{ то } \quad T_{m2} = T_u - T_{\sigma} + T_1 l_m^{-1}(3l_{\sigma}^o + l_{\sigma}^g); \quad (6)$$

$$T_{nz} = 365 - T_{\text{ц}} T_3 - T_1 l_{\tau}^{-1}[L_y(k_y - 1) + l_{\sigma}^b + l_{\sigma}^o] \quad \text{при } T_3 = \text{int} \frac{365}{T_{\text{ц}}}; \quad T_n = T_x - T_1 l_{\sigma}^{-1};$$

$$T_n = 365 - T_{\text{ц}} - T_{\text{ц}} T_4 - T_1 l_m^{-1}[L_y(k_y - 1) + l_{\sigma}^g + l_{\sigma}^o] \quad \text{при } T_4 = \text{int} \frac{365 - T_n}{T_{\text{ц}}}; \quad (7)$$

$$\text{если } T_{nz} < 0, \text{ то } T_{nz} = 0; \text{ если } T_n < 0, \text{ то } T_n = 0; \text{ если } T_n < 0, \text{ то } T_n = 0; \quad (8)$$

$$\text{если } T_{nz} < T_{\sigma}, \text{ то } T_{nz} = T_{\sigma}; \text{ если } T_n < T_{\sigma}, \text{ то } T_n = T_{\sigma}; \text{ если } T_n < T_{\sigma}, \text{ то } T_n = T_{\sigma}; \quad (9)$$

$$t_o = L_y l_{\sigma} - 2T_{\sigma} + T_x - B_1 - B_2; \quad t_{no} = T_{nz,e} - T_{\sigma} - B_1 - B_2 \quad \text{при } T_{nz,e} = 365 - T_{\text{ц}}' \text{int} \frac{365}{T_{\text{ц}}'}; \quad (10)$$

$$T_u' = T_x + 1 + L_y (3l_{\text{дс}})^{-1} - 3^{-1} + T_{\sigma} + 2 \times 3^{-1} (B_1 + B_2 - T_x) + 3^{-1} W_{\sigma}; \quad T_{\sigma} = T_1 l_{\sigma}^{-1} (l_{\sigma 1} + l_{\sigma 2});$$

$$B_1 = T_1 L_y l_m^{-1} (k_y - 1); \quad B_2 = l_{\sigma 0} T_1 l_m^{-1}; \quad W_{\sigma} = l_{\sigma 0} T_1 l_m^{-1};$$

$$\text{если } t_o \leq T_{nz,e}, \text{ то } t_o = T_{nz,e}; \quad \text{если } t_{no} \leq T_{nz,e}, \text{ то } t_{no} = 0; \quad (11)$$

$$Q_{y\text{ц}} = f[(T_{nz} + T_n + T_{\text{ц}}) T_{\text{ц}}^{-1} + T_3 + T_4]; \quad (12)$$

$$Q_{y\text{ц}}' = f[L_y T_3 + l_{\text{дс}} (t_o + t_{no})], \quad Q_{y\text{ц}}' := Q_{y\text{ц}}; \quad (13)$$

$$\text{если } Q_{y\text{ц}} < Q_{y,\text{cp}}, \text{ то } H := H - \Delta H; \text{ если } Q_{y\text{ц}} \geq Q_{y,\text{cp}}, \text{ то } H := H; \quad (14)$$

$$\text{если } n = \text{int} \frac{L_k}{L_y}, \text{ то } L = L_k - nL_y, \quad Q = Q_k - nQ_y, \quad Q := Q_y, \quad H' := H \Rightarrow (3), (4); \quad (15)$$

$$T'_d = T_2(T_1 + t_1) + T_1 l'_m (L_y - l'_m T_2); \quad T'_u = 2T_2(T_1 + t_1) + T_1 l'_m (l'_6 + 2Lk_y - 2l'_r T_2); \quad (16)$$

$$T'_{n3} = 365 - T'_u T'_3 - T_1 l'_m [L_y (k_y - 1) + l'_6] \quad \text{при} \quad T'_3 = \text{int} \frac{365}{T'_u};$$

$$Q_u = f[T'_{n3} (T'_d)^{-1} + T'_3], \quad Q_u := Q_{yч}, \quad \Rightarrow (14). \quad (17)$$

Предельная высота нижнего подуста при совместной взрывном разрушении на сброс разнопрочных пород определяется по формуле:

$$H-H_2 = \left\{ -\frac{f_2}{2} + \left[ \left( \frac{f_2}{2} \right)^2 + \left( \frac{f_1}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} + \left\{ -\frac{f_2}{2} - \left[ \left( \frac{f_2}{2} \right)^2 + \left( \frac{f_1}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} - F_1 (3q_m \text{ctg}^2 \gamma)^{-1}, \quad (18)$$

где  $q_{ск}$ ,  $q_m$  — удельный расход ВВ соответственно для скальных и плотных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $H-H_2$  — высота нижнего подуста, равная  $H-H_2 = H_{ск} + H_1$ , м;  $H_2$  — высота верхнего подуста, м;  $H_{ск}$  — суммарная мощность скальных и полускальных пропластков, м;  $H_1$  — покрывающая их толща плотных пород, м;  $P_{ск}$  — вместимость 1 м скважины, кг;

$$f_1 = -F_1^2 (3q_m^2 \text{ctg}^4 \gamma)^{-1} + F_2 (q_m \text{ctg}^2 \gamma)^{-1};$$

$$f_2 = 2F_1^3 (27q_m^3 \text{ctg}^6 \gamma)^{-1} - F_1 F_2 (3q_m^2 \text{ctg}^4 \gamma)^{-1} + F_3 (q_m \text{ctg}^2 \gamma)^{-1};$$

$$F_1 = \{ H_{ск} (q_{ск} - q_m) \text{ctg} \gamma + 2 q_m [C_B + H_{ск} (\text{ctg} \alpha_{ск} - \text{ctg} \gamma)] \} \text{ctg} \gamma;$$

$$F_2 = 2H_{ск} (q_{ск} - q_m) [C_B + H_{ск} (\text{ctg} \alpha_{ск} - \text{ctg} \gamma)] \text{ctg} \gamma + q_m [C_B + H_{ск} (\text{ctg} \alpha_{ск} - \text{ctg} \gamma)]^2 - 2P_{ск};$$

$$F_3 = H_{ск} (q_{ск} - q_m) [C_B + H_{ск} (\text{ctg} \alpha_{ск} - \text{ctg} \gamma)]^2.$$

$$\text{Если } \frac{f_2}{4} + \frac{f_1^3}{27} < 0 \text{ то } H_2 = 2\rho_1^{\frac{1}{3}} \cos \varphi / 3 - F_1 (3q_m \text{ctg}^2 \gamma)^{-1}, \quad (19)$$

$$\text{где } \rho_1 = \left( -\frac{f_1}{3} \right)^{\frac{3}{2}}; \quad \varphi = \arccos(-f_2 / 2\rho_1), \text{ град.}$$

Объем сбрасываемой в выработанное пространство горной массы из расчета на 1 пог. м заходки с учетом толщи разнопрочных пород нижнего подуста составляет:

$$V_{сб}^{нБ} = A(H-H_2) [ H_{ск} (k_p^{ск} - 1) + H_1 (k_p^м - 1) + (H-H_2) \eta_{сн} ] ( k_p^{ск} H_{ск} + H_1 k_p^м )^{-1}, \quad (20)$$

где  $V_{сб}^{нБ}$  — объем сброса породы, м<sup>3</sup>/м;  $k_p^м$ ,  $k_p^{ск}$  — коэффициент разрыхления соответственно плотных и скальных пород;  $A$  — ширина заходки, принимается в зависимости от числа рядов скважин, участвующих в сбросе (для условий угольных месторождений  $A=32-42$  м);  $\eta_{сн}$  — коэффициент снижения высоты нижнего подуста после взрыва.

Определение проектных параметров экскаваторно-отвального комплекса завершается при достижении предельно возможной по организационным условиям высоты основного вскрышного уступа. Разработанная модель бестранспортной технологии разработки разнопрочных пород позволяет оптимизировать проектные параметры схем экскаваций экскаваторно-отвального комплекса при эффективной организации вскрышных и добычных работ. Таким образом, соответствие результатов расчетов оптимальному состоянию горных работ достигается использованием в математическом описании технологических процессов пространственного метода.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К., Иргембаев Г.Е., Шулаева Н.А. Повышение эффективности внедрения бестранспортных схем экскавации неоднородных разнопрочных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. Научный симпозиум «Неделя горняка — 2007». — М.: МГТУ, 2007. — № 5 — С. 139-145.
2. Молдабаев С.К. Эффективная схема экскавации экскаваторно-отвальным технологическим комплексом с кратной перевалкой вскрыши на смежных участках //Тр. Межд. научн. конф. «Наука и образование — ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030». — Караганда: КарГТУ, 2009. — Выпуск 2. — С. 76–78.
3. Звягинцев Ю.И., Кортелев О.Б. Методика обоснования схем организации работ при использовании систем разработки с перевалкой вскрыши //Оптимизация параметров карьеров. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1978. — С. 70-84.
4. Федорко В.П. Влияние ширины заходки и длины фронта работ на производительность участка при бестранспортной системе разработки //Изв. вузов. Горный журнал, 1995. — № 3—4. — С. 19—22.
5. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Взаимосвязь технологических процессов и параметров бестранспортных схем отработки твердых вскрышных пород //Комплексное использование минерального сырья. — Алматы, 1998. — № 4. — С. 23-27.

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Ракишев Б.Р.* — доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, b.rakishev@mail.ru,  
*Молдабаев С.К.* — доктор технических наук, профессор, Екибастузский инженерно-технический институт им. акад. К.И. Сатпаева, технический консультант ТОО «Майкубен-Вест», moldabaev\_s\_k@mail.ru

