

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНИЦ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНО-КОНВЕЙЕРНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВИДОВ ТРАНСПОРТА ПРИ ДОРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ

OPTIMIZATION OF THE BOUNDARIES OF USING AUTOMOBILE-CONVEYOR-RAILROAD MODES OF TRANSPORT IN THE COMPLETION OF DEEP IRON ORE OPEN PITS

S. Moldabayev,
doctor of technical sciences,
professor;

A. Toktarov,
Master of technical sciences,
PhD student,

KazNITU named after K. Satpayev,
Almaty, the Republic of Kazakhstan;

A. Basceti,
doctor of technical sciences,
professor,
Istanbul University-Cerrahpasa,
Istanbul, Turkey.

The algorithm of optimum depth calculation for input of railroad transport and the conveyor hoist in schemes of cyclical-and-continuous technology taking into account mining technical and economic parameters of finalization of deep open-pit mines is presented.

Keywords: cyclic flow technology, road transport, conveyor lift, railway transport, mathematical model, calculation algorithm.

На многих железорудных карьерах Евразии широкое применение получил комбинированный автомобильно-железнодорожный вид транспорта [1, 2]. В дальнейшем зарубежье на нагорных карьерах в основном используется автомобильный транспорт [3], а на равнинной местности в глубоких карьерах доказана целесообразность перехода на автомобильно-конвейерный транспорт с использованием крутонаклонных конвейеров [4-6].

Из теории известно, что в зоне доработки глубоких карьеров для уменьшения разноса их бортов целесообразно переходить на использование автосамосвалов относительно небольшой грузоподъемности [7].

Следует также учесть, что технико-экономические показатели разработки для каждого конкретного месторождения могут значительно различаться. Поэтому исследования по оптимизации зоны применения различных видов транспорта в глубоких и сверхглубоких карьерах особенно актуальны в настоящее время. От этого зависит экономическая целесообразность инвестиций при переходе горных работ на глубокие горизонты.

С.К. Молдабаев,
доктор технических наук,
профессор;

А. Токтаров,
магистр технических наук,
PhD докторант,
КазННТУ имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Республика Казахстан;

А. Баскетин,
доктор технических наук,
профессор,
Стамбульский университет Серрахпаша,
Стамбул, Турция.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, автомобильный транспорт, конвейерный подъемник, железнодорожный транспорт, математическая модель, алгоритм расчета.

На данный момент верхняя зона рыхлых пород самого глубокого Северного участка Качарского карьера отрабатывается с использованием железнодорожного транспорта, а коренные крепкие породы скальной вскрыши и руда — комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом. По проекту конечная глубина карьера составит 760 м. Горные работы уже достигли глубины 375 м.

Установлено, что одним из сдерживающих факторов выемки пород скальной вскрыши и добычи руды является проблема обеспечения грузотранспортной связи между забоями и перегрузочными пунктами. На некоторых горизонтах возникают затруднения по сооружению автомобильных съездов для применяемых большегрузных автосамосвалов. Значение ширины транспортных берм меньше 20 м снижает скорость автосамосвалов и усложняет встречное движение порожних и груженых автосамосвалов.

В связи с превышением рациональных высоты подъема и расстояния транспортирования автосамосвалами в 2-3 раза для выполнения плановых объемов горных работ количество их необходимо увеличивать, что также усложняет организацию их движения в стесненных условиях глубоких горизонтов и еще больше загрязняет атмосферу пылью и токсичными компонентами отработанных газов. Переход на использование более мощных автосамосвалов с грузоподъемностью 220 и более тонн в зоне доработки запасов Качарского карьера потребует пересмотреть конечный его проектный контур по дневной поверхности в сторону увеличения.

Низкая производительность экскаваторов также обусловлена стесненными условиями ведения горных работ — работа в узких забоях затрудняет маневрирование автосамосвалов перед погрузкой, а отсутствие широких площадок не позволяет организовать двухстороннюю их погрузку.

Предварительно установлено, что решить транспортную проблему можно за счет значительного снижения высоты подъема и расстояния транспортирования автосамосвалами при переходе на циклично-поточную технологию (ЦПТ) с использованием комбинированного автомобильно-конвейерно-железнодорожного вида транспорта.

Для перехода на ЦПТ имеются участки для размещения конвейерных подъемников в стационарном положении. Практика ее внедрения на железорудных карьерах показывает, что при использовании традиционных наклонных конвейерных подъемников для ее размещения необходимо сооружать крутые траншеи. Значительно сократить ввод в эксплуатацию конвейерного подъемника можно с использованием крутонаклонных конвейеров. В этом случае без дополнительного разбоя борта карьера продолжительность перехода на ЦПТ будет слагаться из времени изготовления на заводе оборудования его комплексов, их доставки и монтажа [8].

Рассредоточение горизонтов и мест установки крутонаклонных конвейеров для отдельного транспортирования руды и пород скальной вскрыши на Северном участке позволит сократить средневзвешенную высоту подъема и расстояние их транспортирования автосамосвалами. При использовании для транспортирования руды двух КНК-180 средневзвешенная высота подъема в течение 8-ми лет будет изменяться от 125 до 195 м в диапазоне расстояний транспортирования от 2,03 до 3,17 км, т.е. будет соответствовать установленному практикой рациональному расстоянию транспортирования автосамосвалами в 2-2,5 км. При использовании для транспортирования пород скальной вскрыши также двух КНК-180 средневзвешенная высота подъема автосамосвалами в течение 8-ми лет будет изменяться от 0 до 70 м в диапазоне расстояний транспортирования от 1,0 до 2,05 км, из которых 800 м приходится на горизонтальный участок вдоль бермы на гор. -180 м.

Одним из важнейших условий применения конвейерного подъемника является обеспеченность транспортной установки горной массой на срок ее окупаемости (10-20 лет), т.е. общий объем выработки на конвейерный транспорт должен быть не менее:

$$V_c = (10...20) P_{c.o.}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где $P_{c.o.}$ — эксплуатационная производительность конвейерной установки, $\text{м}^3/\text{год}$.

Глубина сооружения перегрузочного пункта (H_{conv} , м) в схемах циклично-поточной технологии с применением конвейерного подъемника в различных вариантах комбинации транспортных средств зависит от проектной глубины карьера (H_d , м), эксплуатационной производительности конвейерного подъемника ($P_{c.o.}$, млн. $\text{м}^3/\text{год}$), объемов доработки горной массы в проектных контурах карьера (V_f , млн. м^3), себестоимости и расстояния транспортирования горной массы железнодорожным (c_r , USD/tkm; L_r , km), конвейерным (c_c , USD/tkm; L_c , km) и автомобильным транспортом (c_a , USD/tkm; L_a , km):

$$H_c = f(H_d, P_{c.o.}, V_f, c_r, c_c, c_a, L_r, L_c, L_a), \text{ м}, \quad (2)$$

где H_d , $P_{c.o.}$, V_f — переменные величины, c_r , c_c , c_a — постоянные величины, а L_r , L_c , L_a должны быть такие, при которых себестоимость транспортирования объемов V_f минимальна.

Рассмотрим транспортную схему (рис. 1) при которой железнодорожный транспорт работает в верхней зоне карьера на подъем горной массы, а автотранспорт работает на трех нижних: на подъем горной массы с перегрузкой в железнодорожный транспорт, на спуск и на подъем с перегрузкой в конвейерный транспорт.

Таким образом проектная глубина карьера примет следующий вид:

$$H_d = H_r + H_{a1} + H_{a2} + H_{a3} = H_{conv} + H_{a3} = H_r' + H_c' + H_{a3}, \quad (3)$$

где H_r — высота подъема горной массы железнодорожным транспортом, м; H_{a1} , H_{a2} , H_{a3} — высота транспортирования горной массы автосамосвалами соответственно на подъем с перегрузкой в железнодорожный транспорт, на спуск с перегрузкой на конвейерный транспорт, на подъем с перегрузкой на конвейерный транспорт, м; H_r' — высота подъема горной массы железнодорожным транспортом при разгрузке в него конвейерного транспорта, м; H_c' — высота подъема горной массы конвейером с перегрузкой в железнодорожный транспорт, м.

Для расчета себестоимости транспортирования объем V_f необходимо разделить на n горизонтальных слоев. Таким образом, чтобы:

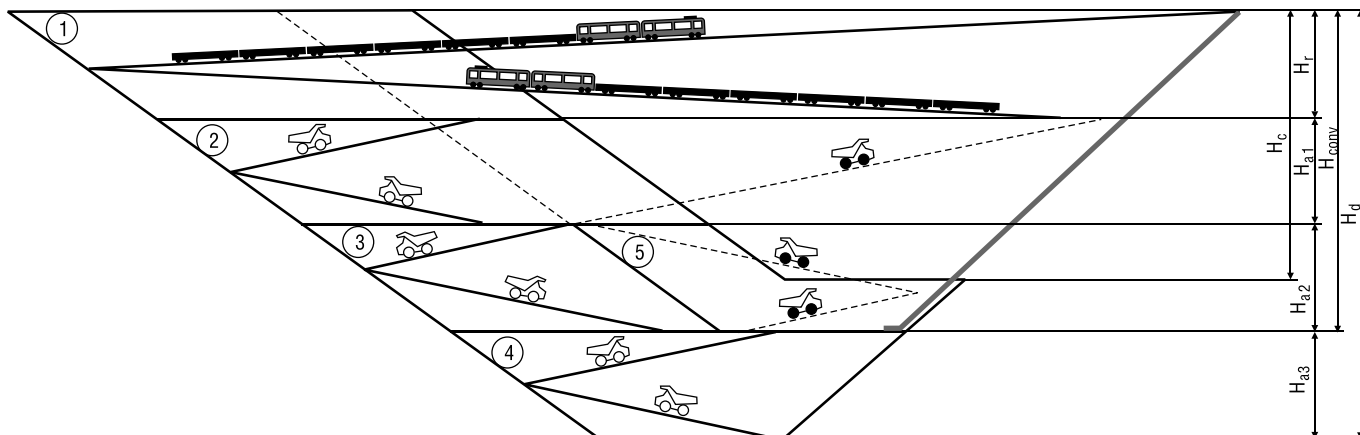


Рис. 1. Схема комбинированного автомобильно-конвейерного и автомобильно-железнодорожного внутрикарьерного транспорта.

$$V_f = \sum_{i=1}^{n_r} V_{r,i} + \sum_{i=1}^{n_{a1}} V_{a1,i} + \sum_{i=1}^{n_{a2}} V_{a2,i} + \sum_{i=1}^{n_{a3}} V_{a3,i}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

$$n = n_r + n_{a1} + n_{a2} + n_{a3}, \text{ м}, \quad (5)$$

где $n_r, n_{a1}, n_{a2}, n_{a3}$ — количество горизонтальных слоев объема V_f при транспортировании его соответственно железнодорожным транспортом на подъем, автотранспортом соответственно на подъем с перегрузкой в железнодорожный транспорт, на спуск и на подъем автосамосвалами с перегрузкой на конвейерный транспорт; $V_{r,i}, V_{a1,i}, V_{a2,i}, V_{a3,i}$ — часть объема V_f в i -м горизонтальном слое при транспортировании его соответственно железнодорожным транспортом на подъем, автотранспортом на подъем с перегрузкой в железнодорожный транспорт, на спуск и на подъем автосамосвалами с перегрузкой на конвейерный транспорт, млн. м^3 .

Себестоимость транспортирования остаточного объема внутрикарьерной горной массы исчисляется по формуле:

$$C_{V_f} = c_r \sum_{i=1}^{n_r} L_{r,i} V_{r,i} + c_a \sum_{i=1}^{n_{a1}} L_{a1,i} V_{a1,i} + c_a \sum_{i=1}^{n_{a2}} L_{a2,i} V_{a2,i} + c_a \sum_{i=1}^{n_{a3}} L_{a3,i} V_{a3,i} + c_r L_r \sum_{i=1}^{n_r} V_{a1,i} + c_c L_c' \sum_{i=1}^{n_{a2}} V_{a2,i} + c_c L_c' \sum_{i=1}^{n_{a3}} V_{a3,i} \rightarrow \min, \text{ USD}, \quad (6)$$

где L_r, L_r', L_c' — расстояние транспортирования горной массы соответственно железнодорожным транспортом при разгрузке в него автомобильного и конвейерного транспорта и конвейерным с перегрузкой в железнодорожный транспорт, км.

Разработан алгоритм расчета глубины ввода железнодорожного транспорта и сооружения перегрузочного пункта автомобильно-конвейерного транспорта, который применен при расчете эффективной глубины ввода железнодорожного транспорта (рис. 2) и конвейерного подъемника (рис. 3-6) в условиях эксплуатации Качарского карьера в Казахстане.



Рис. 2. Динамика изменения себестоимости транспортирования суммарного объема горной массы ($C_{vf(r,a)}$) с увеличением глубины ввода железнодорожного транспорта (H_r).

Полученный график функции $C_{vf(r,a)} = f(H_r)$ представляет из себя выпуклую кривую, приближенную по форме к параболе (рис. 2). В диапазоне $H_r = 0...149$ м функция $C_{vf(r,a)} = f(H_r)$ убывает, в $H_r = 150...764$ м — возрастает. Рост функции объясняется необходимостью вовлечения в разработку дополнительных пород вскрыши для обеспечения нормальной

работы железнодорожного транспорта при вскрытии глубоких горизонтов карьера. Исходя из полученной модели и построенного на его основании графика, можно сделать вывод, что в условиях эксплуатации Качарского карьера с применением схем комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта, оптимальная глубина ввода железнодорожных путей составляет 149 м, что подтверждается действующими проектами, мировым опытом эксплуатации и предыдущими исследованиями.

График функции $C_{vf} = f(H_c)$ на рис. 3 представляет из себя выпуклую кривую, по форме приближенную к параболе. Модель, на основании данных которой построен график, предусматривала схему транспорта, при которой независимо от глубины заложения конвейерного подъемника применяется автомобильный транспорт. Функция убывает в диапазоне $H_c = 0...269$ м, а возрастает при $H_c = 270...719$ м. Оптимальная глубина ввода конвейерного подъемника в схемах автомобильно-конвейерного транспорта составляет 269 м.

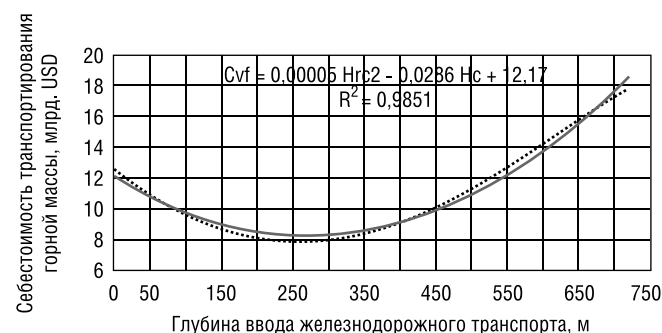


Рис. 3. Динамика изменения себестоимости транспортирования суммарного объема горной массы (C_{vf}) с увеличением глубины ввода конвейерного подъемника (H_c).

График функции $C_{vf} = f(H_c)$ на рис. 5 представляет из себя выпуклую кривую, по форме приближенную к параболе, при чем в диапазоне $H_c = 479...719$ м наблюдается вогнутость. Моделирование процессов транспортирования проводилось с учетом введения железнодорожного транспорта и его работы на глубину до 149 м. На нижележащих горизонтах предусмотрена схема автомобильно-конвейерного транспорта. Функция убывает в диапазоне $H_c = 0...329$ м, возрастает при $H_c = 330...719$. Оптимальное значение глубины ввода конвейерного подъемника составляет 329 м.

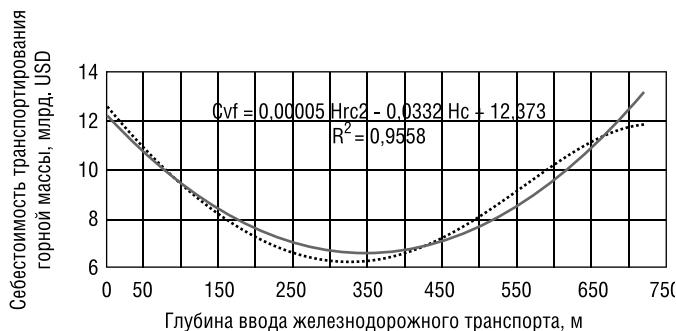


Рис. 4. Динамика изменения себестоимости транспортирования суммарного объема горной массы (C_{vf}) с увеличением глубины ввода конвейерного подъемника (H_c).

При моделировании процессов транспортирования по схемам комбинированного автомобильно-конвейерного и автомобильно-железнодорожного транспорта с введением железнодорожных путей на глубину 149 м, получены данные, касательно себестоимости транспортирования горной массы, на основании которых построен график, представленный на рис. 6. График представляет из себя выпуклую кривую по форме приближенную к параболе. Функция убывает в диапазоне $H_c = 0...344$ м, возрастает при $H_c = 345...719$ м. Оптимальное значение глубины ввода конвейерного подъемника — 344 м.



Рис. 5. Динамика изменения себестоимости транспортирования суммарного объема горной массы (C_{vf}) с увеличением глубины ввода конвейерного подъемника (H_c).

Выводы. Таким образом, анализ моделей комбинированного транспорта в условиях Качарского карьера (рис. 6) показал, что по сравнению с автомобильным транспортом себестоимость транспортирования оставшегося суммарного

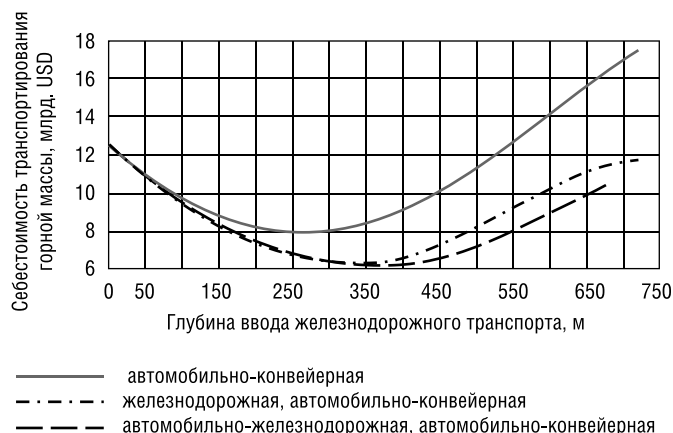


Рис. 6. Совмещенная диаграмма изменения себестоимости транспортирования суммарного объема горной массы (C_{vf}) с увеличением глубины ввода конвейерного подъемника (H_c) при различных схемах транспорта.

объема горной массы при использовании автомобильно-конвейерного с вводом конвейерного подъемника на глубине 269 м снижается на 37,6%, железнодорожного ($H_r = 149$ м) и автомобильно-конвейерного ($H_c = 329$ м) — на 50,3%, автомобильно-железнодорожного ($H_r = 149$ м) и автомобильно-конвейерного ($H_c = 344$ м) — на 50,8%. В результате исследований доказано, что переход с комбинированного автомобильно-железнодорожного на комбинированный автомобильно-конвейерно-железнодорожный вид транспорта экономически целесообразен и позволит расширить границы эффективного применения открытого способа разработки железорудных месторождений [8]. ■

Исследование выполнено в рамках х/д проекта №2432/17/20 от 19.10.2017г. с АО «ССГПО».

ЛИТЕРАТУРА

1. Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В. и др. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития: Монография. - Кривой Рог: Дионис (ФЛ-П Чернявский Д.А.), 2012. - 356 с.
2. Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рыкус А.А. Открытая разработка железорудных руд Украины: состояние и пути совершенствования: Монография. - Днепропетровск: НГУ, 2009. - 452 с.
3. McKelvey P., Beale G., Taylor A., Mansell S., Mira B., Valdivia C., & Hitchcock W. Depressurization of the north wall at the Escondida Copper Mine, Chile // Journal: Geological Society, London, Special Publications, vol. 198, no. 1. - 2002. - pp. 107-119.
4. Grujic, M. & Erdeljan D. (2017). Advantages of High Angle Belt Conveyors (Hac) in Mining. Applied Mechanics and Materials (683), 73-77.
5. Kuruppu, M.D. & Golosinski, T.S. (2000). Steep angle conveying for material transportation in open cut mines. 9th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Proceedings Paper, 6-9 November 2000, 731-734.
6. Kuruppu, M.D. (2003) The steep angle conveying option for large open pit mines. 5th Large Open Pit Conference, Proceedings Paper, 3-5 November 2003, 65-69.
7. Ракишев, Б.Р., Мухамеджанов, Е.Б., Саменов, Г.К., Куттыбаев, А.Е. (2012) Установление границ применения экскаваторно-автомобильных комплексов различной мощности в глубоких карьерах. Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень», 7, 90-98.
8. Технично-экономическое обоснование целесообразности перехода на транспортирование горной массы комбинированным автомобильно-конвейерно-железнодорожным видом транспорта и выбор типа автосамосвалов на Качарском карьере АО «ССГПО». - Алматы: «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева», 2018. - 80 с.