

УДК 519.8

К.В. Литвиненко

Государственное высшее учебное заведение  
“Национальный горный университет”, г. Днепропетровск,  
Украина

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗВЕНЬЕВ КОМБИНИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

K.V. Litvinenko

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnipropetrovsk, Ukraine

### OPTIMIZATION OF INTERACTION BETWEEN SECTIONS OF THE COMBINED TRANSPORT DURING OPEN-CAST MINING

**Цель.** Рациональные технологические схемы добычи полезных ископаемых открытым способом требуют оптимизации функционирования и взаимодействия автомобильного, железнодорожного, конвейерного транспорта. Сведения к минимуму простоев средств транспортирования горной массы, с учетом стохастичности процессов разгрузки и погрузки, можно добиться при правильной организации прибытия транспорта на перегрузочные пункты карьера. Минимизацию затрат в первую очередь можно обеспечить за счет рационального формирования грузопотоков с перевозкой горной массы по кратчайшему расстоянию, а также путем оптимизации функционирования „узких“ мест в транспортной системе карьера.

**Методика.** Взаимодействие различных видов транспорта на стыках транспортной сети, при учете случайного разброса параметров взаимодействия, требует стохастической постановки транспортной задачи оптимизации. В работе строится целевой критерий оптимальности транспортных потоков, учет которого позволит снизить затраты на перемещение горной массы и простои транспорта внутри горнотранспортной системы.

**Результаты.** В работе исследованы неравномерности функционирования перегрузочных пунктов при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте на глубоких карьерах. Проведенный анализ показывает значительные колебания движения горной массы в зависимости от времени внутри транспортной сети, что требует построения вероятностных моделей функционирования горнотранспортной системы. Приведена стохастическая постановка и построена целевая функция для оптимизации динамической задачи взаимодействия смежных звеньев комбинированного транспорта в карьере.

**Научная новизна.** Обоснован критерий минимизации убытков в зависимости от закона распределения прибытия транспортных средств на перегрузочные пункты.

**Практическая значимость.** Приведенная стохастическая постановка задачи для минимизации убытков при взаимодействии транспортных потоков в горнотранспортной системе карьера позволяет оптимизировать работу смежных транспортных звеньев при перемещении горной массы.

**Ключевые слова:** *комбинированный транспорт, транспортные расходы, минимизация убытков, оптимизация*

**Вступление.** Современные глубокие карьеры характеризуются большими объемами перевозок горной массы, применением нескольких видов транспорта, а также их комбинаций. Схемы выемки и доставки всех разновидностей горной массы к пунктам приемки в плановых объемах следует оценивать как по интенсивности загрузки горнотранспортной системы карьера, так и по величине затрат. Минимизацию затрат, в первую очередь, можно обеспечить за счет рационального формирования грузопотоков с перевозкой горной массы по кратчайшему расстоянию, а также путем оптимизации функционирования „узких“ мест в транспортной системе карьера.

**Анализ проблемы.** Комбинированные схемы транспорта наиболее часто состоят из трех звеньев:

- транспорт по горизонтам разработки;
- транспорт (подъем) по борту карьера;
- транспорт по поверхности карьера.

В условиях карьеров наиболее специфичным является внутрикарьерный транспорт и его взаимодействие, что в значительной степени определяет производственные возможности и экономическую целесообразность разработки полезного ископаемого.

Транспортные схемы при комбинированном транспорте, наряду с основным транспортным оборудованием (экскаваторы, автомобили, локомотивосоставы), включает также специальные перегрузочные устройства (погрузчики, грохоты, дробилки, питатели и др.).

Транспортные схемы карьеров при комбинированном транспорте формируются сочетаниями различных по принципу действия средств. В звеньях технологической сети, представленных автомобильным и железнодорожным транспортом, процесс транспортирования протекает дискретно, при конвейерном транспорте – непрерывно [1]. В реальных условиях технологический процесс транспортирования горной массы подвержен воздействию большого

количества факторов, большинство из которых носит стохастический характер. Такие процессы относятся к классу сложных индетерминированных, поэтому часто невозможно проследить некоторые причинно-следственные связи из-за изменчивости условий функционирования системы, проявлений возмущений, высокой неупорядоченности процесса. Неравномерность и случайность процессов погрузки и транспортирования обуславливают простои оборудования, и, как следствие, убытки предприятия.

Потери времени в результате простоя на стыках транспорт-транспорт, транспорт-склад и склад-транспорт могут возникать как следствие случайного разброса времени доставки горной массы и случайных отклонений от планового режима разгрузки и погрузки.

В качестве компенсаторов неравномерности функционирования горнотранспортной системы создаются перегрузочные пункты горной массы, выполняющие функции промежуточных складов. Эксплуатация перегрузочных пунктов при автомобильно-железнодорожном транспорте характеризуется различной интенсивностью поступления в течение смены автосамосвалов на разгрузку и локомотивосоставов под погрузку [2]. Работа карьерных экскаваторов и автосамосвалов производится в три смены продолжительностью по 8 ч каждая. Перегрузочные экскаваторы и железнодорожный транспорт работают в две смены продолжительностью по 12 ч. В течение смены автосамосвалы и локомотивосоставы прибывают на перегрузочный пункт неравномерно. В первый и последний часы смены интенсивность автомобильного грузопотока минимальная. В течение 30–45 мин между сменами автосамосвалы на разгрузку не поступают. В первой половине смены интенсивность поступления автосамосвалов на разгрузку максимальная, а во второй половине она снижается на 15–20%. Железнодорожные составы прибывают на перегрузочный пункт через 30–40 мин после начала смены и в течение смены интенсивность прибытия локомотивосоставов колеблется незначительно (рис. 1). Производительность перегрузочных экскаваторов в этот период составляет 220–300 м<sup>3</sup>/ч.

Анализ работы перегрузочных пунктов показывает, что суточные колебания интенсивности прибытия автосамосвалов на разгрузку довольно значительны. В отдельные смены и даже дни на разгрузку не поступает ни одного автосамосвала. Особенно это характерно для перегрузочных пунктов вскрышных пород (рис. 2). Аналогичные колебания объемов перевозок наблюдаются и на железнодорожном транспорте. Экстремальные значения интенсивности грузопотоков, в большинстве случаев, совпадают во времени и направлены в противоположные стороны. Минимальные значения интенсивности грузопотоков, в основном, соответствуют дням производства массовых взрывов. Анализ опыта работы мощных карьеров показывает, что в среднем за длительный период времени объем доставленной горной массы равен объему, вывезенному с перегрузочного пункта.

Интенсивность перегрузки руды выше по сравнению с перегрузкой вскрышных пород. При этом изменение интенсивности автомобильного грузопотока в 1,5–1,89 раза больше по сравнению с железнодорожным грузопотоком. Коэффициент вариации рудного грузопотока  $\nu$  значительно меньше коэффициента вариации вскрышного грузопотока. Изменение интенсивности грузопотоков  $\alpha_n$  можно характеризовать отклонением максимальных объемов поступившей на перегрузочный пункт горной массы по сравнению с минимальными объемами вывезенной из него горной массы

$$\alpha_n = (\bar{X}_a + 1,7\sigma_a) / (\bar{X}_{жс} - 1,7\sigma_{жс}),$$

где  $\bar{X}_a, \bar{X}_{жс}$  – соответственно, средняя интенсивность автомобильного и железнодорожного грузопотоков, м<sup>3</sup>/сут;  $\sigma_a, \sigma_{жс}$  – соответственно, среднеквадратичное отклонение интенсивности автомобильного и железнодорожного грузопотоков.

Таким образом, взаимодействие различных видов транспорта на стыках транспортной сети, при учете случайного разброса параметров, требует стохастической постановки транспортной задачи оптимизации.

**Постановка задачи.** Пусть время доставки  $\tau_{ji}(t)$  горной массы  $u_{ji}(t)$  имеет случайный характер, т.е. для некоторого момента времени  $t$  имеем  $\tau_{ji}(t) \pm \varphi_j(t)$ , где  $\tau_{ji}(t)$  – нормативное время прибытия под разгрузку,  $\varphi_j(t)$  – случайная величина. Если время доставки будет  $\tau_{ji}(t) - \varphi_j(t)$ , то имеем раннее прибытие; если же  $\tau_{ji}(t) + \varphi_j(t)$ , то появляется эффект позднего прибытия. Процесс разгрузки горной массы также имеет плановое время  $\tau_j(t)$  со случайным отклонением  $\varphi_j^*(t)$ . При этом величина  $\varphi_j^*(t)$  имеет некоторое распределение. Величины  $t_j(t) - \varphi_j^*(t)$  и  $t_j(t) + \varphi_j^*(t)$  характеризуют раннюю и позднюю разгрузку соответственно. Наложение друг на друга двух случайных процессов доставки и разгрузки в различных комбинациях, в большинстве своем, приводят к простоям транспорта для разгрузки и погрузки. Такой эффект наблюдается при непосредственной разгрузке автосамосвалов в думпкары на специальных эстакадах, а также особенно при выгрузке автосамосвалов с эстакад в бункеры-дозаторы при автомобильно-конвейерном звене горнотранспортной системы. Во втором случае внутренняя емкость звена горнотранспортной системы значительно ограничена, так как отсутствуют перегрузочные склады горной массы. Создание же таких складов приводит к удорожанию процесса транспортировки за счет затрат на перегрузку.

Учет случайного разброса параметров взаимодействия транспорта требует применения стохастической постановки динамической транспортной задачи [3], впервые сформулированной С.П. Миловидовым и П.А. Козловым. При этом необходимо найти неко-

торый критерий оптимальности транспортных потоков, учет которого позволит снизить затраты на перемещение горной массы и простои транспорта внутри горнотранспортной системы.

**Метод решения.** Оптимизация структуры взаимодействия транспортных потоков при комбинированном транспорте может быть осуществлена минимизацией функционала  $J$

$$J = J_1 + J_2 + J_3 \rightarrow \min .$$

Транспортные расходы определяются

$$J_1 = \sum_0^T \sum_{p_i, p_j} c_{ij}(t) \cdot u_{ij}(t).$$

Составляющие функционала  $J_2, J_3$  зависят от закона распределения прибытия под разгрузку  $\varphi_j(t)$  и погрузку  $\varphi_j^*(t)$  транспортных средств смежных транспортных звеньев и определяют убытки по различным видам транспорта для поставки горной массы  $u_{ij}(t)$ .

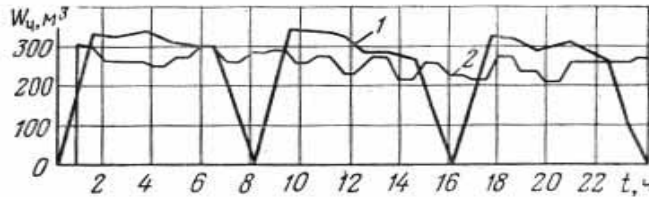


Рис. 1. График изменения часовой интенсивности (t) грузопотоков  $W_{ч}$ , поступающих на перегрузочный пункт: 1, 2 – соответственно, для автомобильного и железнодорожного транспорта

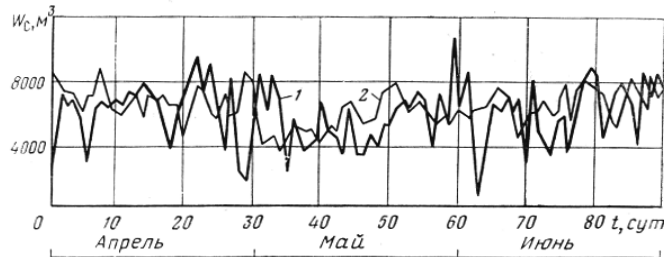


Рис. 2. График изменения суточной интенсивности (t) грузопотоков  $W_{с}$ , поступающих на перегрузочный пункт: 1, 2 – соответственно, для автомобильного и железнодорожного транспорта

Если прибытие  $t_0$  и момент розгрузки  $t$  соотносятся как  $t < t_0$ , то возникает ущерб от простоя одного вида транспорта, а если  $t > t_0$ , то имеем простой и ущерб на смежном виде транспорта. Если обозначить  $C_1$  и  $C_2$  единичные ущербы от простоев видов транспорта,  $\varphi(t)$  – функция плотности распределения вероятности для готовности принятия груза смежным видом транспорта, тогда

$$J_1 = \int_{-\infty}^{t_0} u_{ij}(t) \cdot \varphi(t) \cdot C_1(t_0 - t) dt ;$$

$$J_2 = \int_{t_0}^{\infty} u_{ij}(t) \cdot \varphi(t) \cdot C_2(t_0 - t) dt .$$

Доставку горной массы необходимо приводить таким образом, чтобы суммарные потери от случайного характера  $J_2 + J_3 \rightarrow \min$ . Положим поставку горной массы одним транспортным средством  $u_{ji}(t) = 1$ .

Если  $t < t_0$  и  $t > t_0$ , то величины  $\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot C_1(t_0 - t) dt$  и  $\int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot C_2(t_0 - t) dt$  будут математическими ожиданиями убытков от простоев по двум видам смежного транспорта.

Суммарное математическое ожидание убытков при плановом прибытии под разгрузку в момент времени  $t_0$

$$F = \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot C_1(t_0 - t) dt + \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot C_2(t_0 - t) dt .$$

С учетом того, что  $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1$  для любого закона распределения, то переходя к единому интервалу интегрирования, в соответствии с [3], суммарное ожидание убытков от простоев транспорта выразится функцией

$$\begin{aligned} F &= t_0 [ C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 + C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt ] - \\ &- C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt + C_2 M - C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt = \\ &= (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt + C_2(M - t_0). \end{aligned}$$

Минимизация функции  $F$  при определенном значении  $t_0$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t_0} &= -C_2 + (C_2 + C_1) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt = 0; \\ \frac{C_2}{C_2 + C_1} &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt. \end{aligned}$$

Таким образом, если необходимо минимизировать убытки по виду транспорта  $C_2$ , то необходимо

$\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt \rightarrow 1$ , а для минимизации убытков по смежному транспорту  $C_1$ , необходимо  $\varphi(t) dt \rightarrow 0$ .

**Выводы.** Представленный анализ неравномерности функционирования перегрузочных пунктов при автомобильно-железнодорожном транспорте на глубоких карьерах показывает значительные колебания движения горной массы в зависимости от времени внутри транспортной сети, что требует построения вероятностных моделей функционирования горно-транспортной системы. Приведенная стохастическая постановка задачи для минимизации убытков при взаимодействии транспортных потоков в горно-транспортной системе карьера позволяет оптимизировать работу смежных транспортных звеньев при перемещении горной массы. Построена целевая функция и указан критерий оценивания для минимизации простоев и убытков при взаимодействии двух видов смежного транспорта.

### Список литературы / References

1. Дриженко А.Ю. Закономерности формирования рабочей зоны глубоких карьеров / А.Ю. Дриженко, К.В. Литвиненко // Сб. науч. тр. НГУ–Днепропетровск, 2008.– № 31.– С. 61–69.

Drizhenko, A.Yu. and Litvinenko, K.V. (2008), “Regularities of formation of the working area in deep pits”, *Collection of scientific papers of National Mining University, Dnepropetrovsk*, no.31, pp. 61–69.

2. Дриженко А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус – Полтава: Полтавський літератор, 2009.– 452 с.

Drizhenko, A.Yu., Kozenko, G.V. and Rykus, A.A. (2009), *Открытая разработка железных руд Украины [Open-Cast Development of Iron Ore in Ukraine]*, Poltavsky literator, Poltava, Ukraine.

3. Александров А.Э. Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом случайного разброса времени доставки и времени потребления / А.Э. Александров, Н.В. Якушев // Управление большими системами / Сб. трудов ИПУ РАН.–2006.– №12–13.– С. 5–14.

Aleksandrov, A.E. and Yakushev, N.V. (2006), “The stochastic formulation of the dynamic transportation problem with delays, taking into account the random variation of time of delivery and time consumption”, *Upravleniye bolshymi sistemami, Collection of scientific works published by IPU RAN*, no.12–13, pp. 5–14.

**Мета.** Рациональні технологічні схеми видобутку корисних копалин відкритим способом вимагають оптимізації функціонування і взаємодії автомобільного, залізничного, конвеєрного транспорту. Зведення до мінімуму простоїв засобів транспортування гірської маси, з урахуванням стохастичності процесів розвантаження і завантаження, можливо досягти за умови правильної організації прибуття транспорту на перевантажувальні пункти кар'єру. Мінімізацію витрат, у першу чергу, можна забезпечити за рахунок раціонального формування вантажопотоків із перевер-

ненням гірської маси за найкоротшою відстанню, а також шляхом оптимізації функціонування „вузьких“ місць у транспортній системі кар'єру.

**Методика.** Взаємодія різних видів транспорту на стиках транспортної мережі, за умови врахування випадкового розкиду параметрів взаємодії, вимагає стохастичної постановки транспортної задачі оптимізації. У роботі будується цільовий критерій оптимальності транспортних потоків, облік якого дозволить знизити витрати на переміщення гірської маси і простої транспорту в середині гірничотранспортної системи.

**Результати.** У роботі досліджено нерівномірності функціонування перевантажувальних пунктів при комбінованому автомобільно-залізничному транспорті на глибоких кар'єрах. Проведений аналіз показує значні коливання руху гірської маси в залежності від часу в середині транспортної мережі, що вимагає побудови імовірнісних моделей функціонування гірничотранспортної системи. Наведена стохастична постановка і побудована цільова функція для оптимізації динамічної задачі взаємодії суміжних ланок комбінованого транспорту в кар'єрі.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано критерій мінімізації збитків залежно від закону розподілу прибуття транспортних засобів на перевантажувальні пункти.

**Практична значимість.** Наведено стохастичну постановку задачі щодо мінімізації збитків при взаємодії транспортних потоків у гірничотранспортній системі кар'єру, що дозволяє оптимізувати роботу суміжних транспортних ланок при переміщенні гірської маси.

**Ключові слова:** комбінований транспорт, транспортні витрати, мінімізація збитків, оптимізація

**Purpose.** The rational manufacturing schemes of mining by an open method require optimization of functioning and co-operation of motor, railway and conveyer transport. It is possible to minimize outage and demurrage of minerals transporting facilities, taking into account the stochastic nature of processes of unloading and loading, due to correct organization of arriving of the transport on the transfer point of the quarry. Minimization of expenses first of all can be provided by the rational forming of cargo traffic for transportation of the minerals by the shortest way, and also by optimization of ‘bottlenecks’ in the quarry transport system.

**Methodology.** Cooperation of different types of transport on the joints of a transport network, with the account taken of casual variation of co-operation parameters, requires the stochastic approach to transport optimization task. The author has developed the special purpose criterion of optimality of transport streams which allows reducing expenses on transportation of the minerals and eliminating outages of transport vehicles in the transport system of the quarry.

**Findings.** The article considers the unsteadiness of functioning of transfer points between motor-car and railway transport at deep quarries. The analysis showed the considerable fluctuations of mineral mass transportation depending on time in the transport network that requires the construction of probabilistic models of functioning of the mining transport system.

The stochastic arrangement and the objective function are presented for optimization of dynamic task of co-operation of contiguous links of the combined transport in the quarry.

**Originality.** The criterion of minimization of losses depending on the law of distribution of arrival of transport vehicles at transfer points was developed.

**Practical value.** The stochastic arrangement of the losses minimization task caused by problems in

co-operation of transport streams in the transport system of the quarry allows optimizing of the work of contiguous transport links involved into mineral mass transportation process.

**Keywords:** *combined transport, transport expenses, minimization of losses, optimization*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Симоненком. Дата надходження рукопису 02.11.11.*

УДК 622.281.74

А.В. Мартовицкий, канд. техн. наук

ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“, г. Павлоград, Украина,  
e-mail: info@dtek.com

## ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК ШАХТ ПАО „ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ“

A.V. Martovitskiy, Cand. Sci. (Tech.)

Private Joint-Stock Company “DTEK Pavlogradugol”, Pavlograd, Ukraine, e-mail: info@dtek.com

## SUBSTANTIATION OF AN EFFECTIVE SET OF MEASURES AIMING INCREASE OF MINE WORKINGS STABILITY IN MINES OWNED BY PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY “DTEK PAVLOGRADUGOL”

**Цель.** Обоснование комплекса эффективных мероприятий по повышению устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ на основе результатов комплексного анализа существующего их состояния, данных об объемах и видах ремонтных работ, оценки степени сложности условий разработки угольных пластов региона Западного Донбасса.

**Методика.** Методической основой выполненных комплексных исследований являются: анализ и обобщение литературных источников и положительного опыта поддержания выработок в сложных условиях эксплуатации, методы шахтных визуальных обследований, методы статистической, стоимостной, аналитической и экспертной оценки данных о состоянии протяженных выработок и степени сложности условий разработки, сопоставительный анализ полученных результатов.

**Результаты.** Результатами исследований являются: обобщенные показатели ремонтных работ по шахтам производственного объединения и отдельным группам выработок; расчетные значения затрат на сооружение и поддержание протяженных выработок. Выделена группа шахт, отнесенных к категории „больших“ глубин разработки. Разработана методика экспертной оценки состояния выработок шахт, определены зависимости протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием от показателя условий разработки, полученные по результатам аналитических расчетов и экспертной оценки. Обоснованы направления повышения устойчивости протяженных выработок шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“.

**Научная новизна.** Впервые получены зависимости протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием от показателя условий разработки для рассматриваемых сложных условий шахт Западного Донбасса; разработана новая методика оценки состояния выработок и условий разработки угольных пластов.

**Практическая значимость.** Полученные зависимости позволяют на стадии проектирования определять возможные затраты на ремонт и поддержание выработок в эксплуатационном состоянии. Обоснованы эффективные для рассматриваемых горно-геологических условий направления совершенствования крепей и способов повышения устойчивости протяженных выработок. Определены технические и организационные мероприятия для решения проблемы обеспечения длительной устойчивости комплекса протяженных выработок в сложных условиях шахт ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“.

**Ключевые слова:** *протяженные выработки, устойчивость, глубокая шахта, затраты на поддержание, способы поддержания*

**Введение.** Принятый курс на интенсификацию горных работ на шахтах ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“ требует реализации комплекса мероприятий,

обеспечивающих надежное и эффективное выполнение всех операций технологического цикла. К числу главных направлений повышения эффективности горных работ относятся обеспечение устойчивости протяженных выработок, оптимизация затрат на их