

УДК 622.271.324.682.684

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ПУНКТОВ  
ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ  
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**А. А. Шустов<sup>1</sup>, Дж. С. Хаддад<sup>2</sup>,  
А. А. Адамчук<sup>1</sup>, В. О. Расцветаев<sup>1</sup>, А. В. Черняев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальный технический университет “Днепровская политехника”,  
просп. Дмитрия Яворницкого, 19, 49005, г. Днепр, Украина

<sup>2</sup>Университет прикладных наук Аль-Балка,  
E-mail: dtjamil@bau.edu.jo, г. Амман, Иордания

Представлены результаты исследований конструкций перегрузочных пунктов в составе циклично-поточной технологии открытой разработки глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых. Предложена инновационная конструкция перегрузочного пункта со сквозным проездом автосамосвалов, позволяющая увеличить пропускную способность, снизить время маневрирования автомобилей при разгрузке, сократить затраты на выемку горных пород. Определена зависимость эксплуатационных расходов карьера на выемку вскрышных пород от конструкции перегрузочного пункта со сквозным проездом в сравнении с тупиковой разгрузкой самосвалов различной грузоподъемности.

*Вскрышные породы, перегрузочный пункт, бункер, карьерный самосвал, ленточный конвейер, сквозной и тупиковый проезд*

DOI: 10.15372/FTPRPI20190610

Разработка глубокозалегающих крутопадающих месторождений полезных ископаемых предполагает ведение горных работ в стесненных горнотехнических условиях на значительных глубинах с большим количеством уступов и рабочих площадок, что обуславливает сложность организации вскрышных и добывающих работ. В этих условиях реализуется циклично-поточная технология горных работ с комбинированным (автомобильно-конвейерным) транспортом горных пород [1]. Карьерные автосамосвалы здесь используются для перемещения горной массы от забоев экскаваторов (погрузчиков) до перегрузочных пунктов, а ленточные конвейеры — для дальнейшей транспортировки на отвал вскрышных пород или технологический комплекс карьера.

Применение автосамосвалов целесообразно при интенсивном подвигании фронта горных работ и углубке карьеров с перемещением породы на расстояние до 4 км (в некоторых случаях до 6–7 км). Преимущества этого вида транспорта — большая маневренность (радиус поворота 8.7–19.8 м) и низкие капитальные затраты. К недостаткам относятся высокие эксплуатационные расходы на транспортировку пород свыше 1.5–3.0 км. Конвейерный транспорт обеспечивает непрерывность и высокую производительность процесса транспортирования при упрощенной ор-

ганизации работы и уменьшенными трудозатратами [2]. В условиях открытой разработки железорудных месторождений распространены наклонные конвейерные комплексы с углом наклона  $\alpha = 14 - 18^\circ$ , которые располагаются на конвейерной галерее (Пивденный ГОК, Ингулецкий ГОК). Крутонаклонные конвейеры с  $\alpha = 37 - 45^\circ$ , размещаемые на нерабочих бортах карьеров (карьер Мурунтау, Казахстан), менее распространены.

В глубоких карьерах ленточные конвейеры используются только в сочетании с карьерными самосвалами и организацией на концентрационных горизонтах перегрузочных пунктов, оснащенных дробильным оборудованием. Из условия сокращения расстояния перемещения автосамосвалов с углубкой карьера последние переносятся на нижние горизонты с шагом 90–105 м [3].

Применение автомобильно-конвейерного транспорта наиболее распространено для железорудных карьеров. Суть технологической схемы транспортирования следующая: самосвал перевозит горную породу с рабочего уступа на концентрационный горизонт, где располагается разгрузочный бункер с дробилкой грубого дробления. После разгрузки в бункер и дробления порода направляется на наклонный конвейер, установленный в конвейерной галерее, для транспортировки на поверхность [4].

Разгрузка самосвала происходит так: при приближении к бункеру самосвал снижает скорость, съезжает с дороги и начинает выполнять тупиковый поворот, после которого он движется задним ходом к зоне разгрузки, затем останавливается и выполняет разгрузку. Разгрузившись, самосвал возвращается на дорогу и направляется к рабочему уступу. Время цикла тупиковой разгрузки с учетом времени маневрирования составляет 1.2–2.8 мин в зависимости от грузоподъемности самосвала [5]. Около 45 % всего времени занимает маневрирование, т. е. выполнение самосвалом тупикового поворота. Сократить это время возможно путем внедрения схемы транспортирования, которая предполагает разгрузку самосвала во время сквозного проезда над разгрузочным бункером. С увеличением грузоподъемности и габаритов автосамосвалов сооружение перегрузочных пунктов требует дополнительного разноса борта карьера. Данная проблема особенно важна в условиях карьеров с глубиной 300–400 м. Совершенствование конструкции пунктов перегрузки горной массы со сквозным проездом самосвалов в схеме интермодальной транспортировки (автомобильный и конвейерный транспорт) — актуальная научная и прикладная задача.

Несмотря на очевидные преимущества разгрузки самосвалов со сквозным проездом перегрузочного пункта, известные конструктивные решения имеют значительные недостатки. Обычно устройство разгрузки самосвала в бункер включает: поворачивающийся мост, соединенный с бункером пятовым шарниром; жестко закрепленный на мосту противовес; опоры; педали для колес самосвала; приводные рычаги моста и направляющие колес самосвала и конвейера [6].

Недостаток такого устройства — ограниченное число самосвалов, способных одновременно разгружаться в бункер, что снижает производительность конвейерной системы. Открытие моста занимает 10–15 с ко времени операции в интенсивном режиме. Основной дефект — отсутствие возможности маневра автосамосвала в процессе его разгрузки. Использование данного устройства нуждается в достаточном пространстве для разворота самосвала. Установка скипового привода моста позволит повысить надежность, но в этом случае потребуется дополнительная мощность [7–10].

Одним из вероятных решений является применение поперечно-перемещающегося моста как части конструкции перегрузочного пункта [11–13]. Когда самосвал проезжает над бункером, он останавливается для разгрузки позади моста. Далее мост сдвигается с помощью роликов или реек перпендикулярно оси движения самосвала. Самосвал разгружает горную породу, и мост закрывается. Такая конструкция проще предыдущей, но необходимо авто-

номное устройство привода моста. Здесь открытие крышки происходит 20–30 с. Движение моста требует увеличенной ширины площадки, что необходимо учитывать при сооружении бункера.

Перегрузочные пункты с поворачивающейся платформой описаны в [14]. Принцип работы подобных устройств следующий: загруженный породой самосвал заезжает на платформу, она начинает поворачиваться относительно вертикальной оси, а при достижении нужного угла к оси движения останавливается для разгрузки. После этого платформа возвращается в исходное положение, а самосвал может продолжать движение в начальном направлении. Конструкции с поворачивающейся платформой позволяют сократить ширину рабочей площадки в сравнении с перегрузочными пунктами с тупиковой разгрузкой за счет уменьшения радиуса поворота самосвала. Общее время поворота платформы превышает 60 с, что увеличивает простой автосамосвала. Кроме того, платформа нуждается в отдельном приводе.

Ряд перегрузочных пунктов с приводными балками представлены в [15, 16]. Загруженный самосвал движется над бункером вдоль поворачивающихся балок, разгружается на них, после этого балки начинают вращаться, благодаря чему с их поверхности порода направляется в бункер. Среди рассмотренных решений последнее обладает наиболее коротким циклом разгрузки и имеет наименьшую ширину площадки. Привод балок требует дополнительного потребления энергии на вращение. Балки, вдоль которых движется самосвал, должны обладать достаточной прочностью, чтобы выдержать вес самосвала и воздействие разгружаемой породы. Кроме того, в этой конструкции присутствует опасность отказа ограничителей движения, что может привести к съезду самосвала с направляющих.

Учитывая недостатки возможных решений разгрузки горной породы в бункер при сквозном проезде самосвала, специалистами Национального горного университета Украины предложено собственное инновационное решение, которое отличается тем, что после заезда самосвала порода разгружается на шлюзовые мосты, соединенные пятовыми шарнирами с перпендикулярными балками, вдоль которых движется транспорт (рис. 1). В этом случае противовесы выполняют функцию барьеров, располагаются на двух сторонах балок от внешней стороны прохода и обеспечивают прямое движение карьерного самосвала соответствующей грузоподъемности [17].

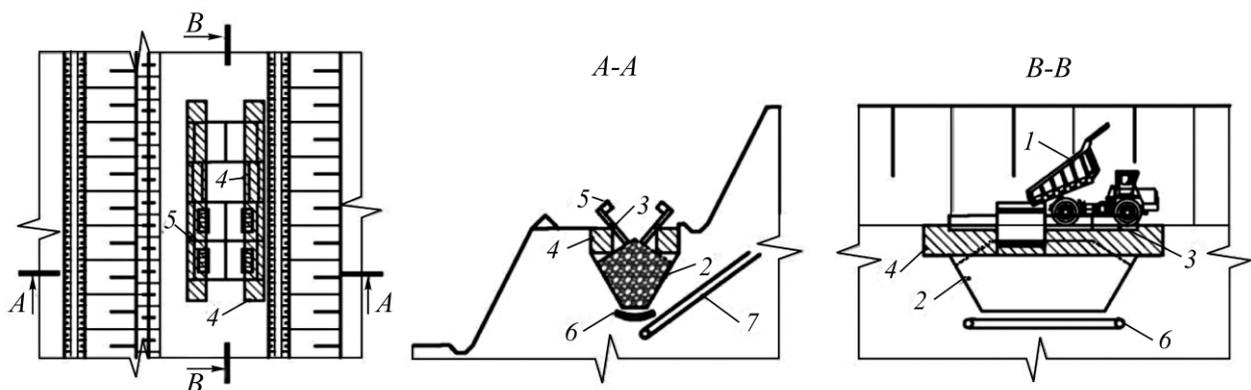


Рис. 1. Перегрузочный пункт со сквозным проездом карьерных самосвалов: 1 — карьерный самосвал; 2 — бункер; 3 — секционные горизонтальные сдвоенные плиты; 4 — продольные несущие балки; 5 — ограничители-противовесы; 6 — перегрузочный конвейер; 7 — магистральный конвейер

Загруженный породой самосвал движется для разгрузки вдоль железобетонных балок между противовесами-ограничителями на поворачивающемся мосту к перегрузочному пункту с бункером. Далее самосвал останавливается таким образом, чтобы была возможность разгрузки на ближайший мост, расположенный за самосвалом. Затем горная порода (под действием собственного веса) поворачивает мосты относительно горизонтальной плоскости по ходу вращения пятовых шарниров и попадает в бункер. Противовесы-ограничители возвращаются в исходное положение и закрывают мосты, а разгрузка самосвалов в бункер повторяется.

В бункере дробятся породы 0 – 300 мм дробилкой ККД-1500/180, через перегрузочный конвейер порода направляется на дневную поверхность с помощью магистрального конвейера или скипового подъемника.

Для обеспечения гидроизоляции бункера в верхнем уступе сооружаются дренажные канавы. Чтобы предотвратить падение самосвалов или движение оборудования с площадки, на проходящие на нижнем уровне машины возводят превентивный породный отвал на верхней границе. Регулировка поворотного механизма осуществляется изменением массы противовесов таким образом, чтобы вес разгружаемой породы превысил вес последних и после разгрузки они вернули пластины моста в исходное положение.

При движении самосвала его передние колеса полностью находятся на железобетонных балках, задние колеса расположены на вращающихся осях поворотных балок. В этом случае защитные барьеры не дают самосвалу сойти с пути. Такое решение обеспечивает достаточное плечо рычага для преодоления усилия противовеса.

В случае сооружения двух или более станций разгрузки перегрузочные устройства необходимо разместить в порядке следования самосвалов, что позволит использовать минимум ширины перегрузочного пункта. Совместная работа разгрузочных станций выглядит так: первый загруженный самосвал проезжает начальные места разгрузки и останавливается для разгрузки на крайнем из них, следующий самосвал становится за первым и т. д. Это обеспечивает максимальную производительность перегрузочного пункта.

Устройство перегрузочного пункта на глубоких горизонтах железорудных карьерах требует разноса бортов и выемку значительных дополнительных объемов вскрышных пород.

Минимальная ширина площадки уступа  $W_1$ , на которой расположен перегрузочный пункт, определяется из выражения

$$W_1 = z + b + 2y + 2a + 3R + x + c, \quad (1)$$

где  $z = 3 - 5$  м — ширина бермы безопасности;  $b = 1.5 - 3.0$  м — ширина защитного вала;  $y = 1.0 - 1.5$  м — ширина обочины дороги;  $a = 3.8 - 9.7$  м — ширина карьерного самосвала;  $R = 8.7 - 19.8$  м — радиус поворота самосвала;  $x = 2 - 3$  м — безопасное расстояние между кузовами встречных самосвалов;  $c = 5$  м — безопасное расстояние между бункером и подошвой уступа (рис. 2).

Обычно ширина площадки уступа перегрузочного пункта с тупиковым поворотом карьерных самосвалов разной грузоподъемности составляет 47.2 – 97.8 м. В варианте со сквозным проездом через бункер ширина площадки уступа сокращается до 32.7 – 68.3 м (рис. 2). Его значение рассчитывается по формуле

$$W_2 = z + b + 2y + a + 2R + c. \quad (2)$$

Объем вскрышных пород  $V_E$ , который не требует удаления при сооружении перегрузочного пункта со сквозным проездом самосвалов, устанавливается по следующей формуле:

$$V_E = \frac{1}{6} H^2 (l + 2L) (\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2), \quad (3)$$

где  $H=300-400$  м — высота борта карьера;  $l=300$  м — величина разности борта карьера по поверхности;  $L=1000$  м — ширина разности борта;  $\alpha_1, \alpha_2$  — углы откоса борта карьера для разгрузочного пункта с тупиковой и сквозной разгрузкой, град [18].

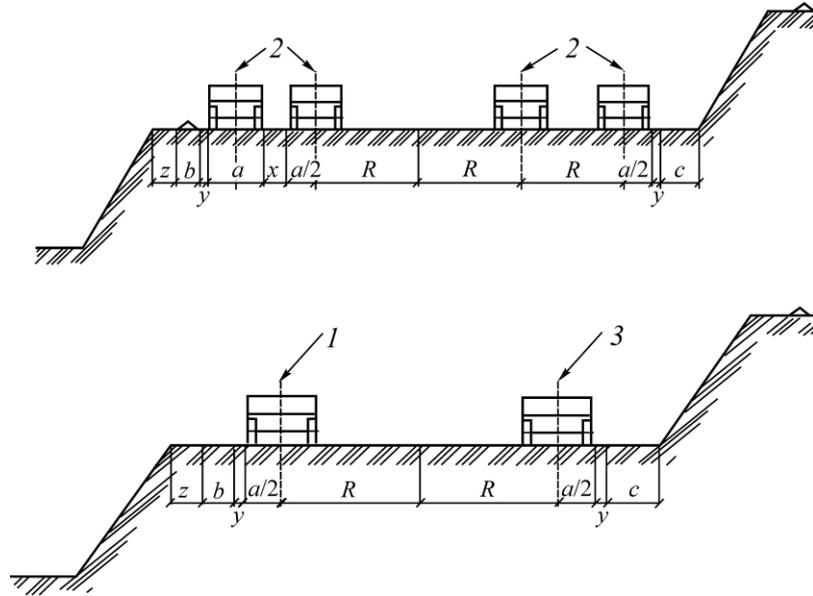


Рис. 2. Схема определения ширины площадки перегрузочного пункта при тупиковом развороте автосамосвалов: 1 — ось движения автосамосвалов по проезжей части; 2 — ось разгрузки автосамосвалов; 3 — ось движения и разгрузки автосамосвалов по разгрузочным пунктам

Формула (3) отражает тенденцию увеличения объема вынимаемой породы с углубкой карьера.

$$\operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{\sum S + W_1}{H}, \quad \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{\sum S + W_2}{H}, \quad (4)$$

где  $\sum S$  — суммарное значение разности откоса борта, м.

Подставив выражение (4) в формулу (3), получаем

$$V_E = \frac{1}{6} H(l + 2L)(W_1 - W_2).$$

С учетом формул (1) и (2) имеем

$$V_E = \frac{1}{6} H(l + 2L)(a + R + x).$$

Расчетами установлено, что сооружение перегрузочного пункта со сквозным проездом на глубине менее 300 м позволяет уменьшить дополнительный объем вынимаемой породы на 1.7–3.7 млн м<sup>3</sup>, при глубине более 400 м — на 2.2–5.0 млн м<sup>3</sup>. Себестоимость выемки 1 м<sup>3</sup> породы составляет около 4 долл. [19]. Это значит, что благодаря предлагаемой технологии, сокращение объемов вскрышных пород, удаляемых при разноске борта карьера, поможет сэкономить 7–20 млн долл. (рис. 3).

Существует ряд конструкторских решений, позволяющих карьерным самосвалам разгружать породу на перегрузочном пункте без маневрирования. Они предполагают подъем проезжих пластин гидравликой, зубчатой рейкой, коленчатым рычагом и т. д. Движение самосвала

обычно происходит с помощью скиповой лебедки, движущегося моста, направляющих балок и поворачивающейся платформы [20]. Такие конструкторские решения помогают не только сократить время цикла разгрузки, но и уменьшить до 50 % ширину площадки, где располагается перегрузочный пункт, что важно при сооружении пункта в карьере глубиной 300–400 м более.

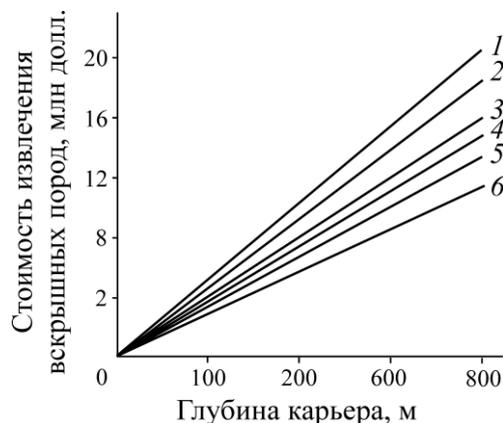


Рис. 3. Зависимость общей экономии средств на извлечение пород вскрыши от глубины карьера при сооружении перегрузочного пункта со сквозным проездом по сравнению с тупиковым разгрузкой автосамосвалов грузоподъемностью: 1 — 450 т; 2 — 360; 3 — 220; 4 — 180; 5 — 136; 6 — 90 т

При ежегодной выемке горной породы на железорудном карьере около 10 млн т суммарное время маневрирования в год составляет 1040–3045 ч в зависимости от грузоподъемности самосвалов и параметров перегрузочного пункта:

$$\sum_{i=1}^n t_m = f\left(\sum_{i=1}^n P_i\right),$$

где  $\sum_{i=1}^n P_i$  — суммарное значение параметров (грузоподъемность карьерного самосвала, параметров перегрузочного пункта), влияющих на продолжительность операций маневрирования [5].

Значение разности откоса уступа

$$\sum S = f\left(Q_k, V_a, \sum_{i=1}^n t_m\right),$$

здесь  $Q_k$  — объем вынимаемой породы, млн т;  $V_a$  — грузоподъемность самосвала, т.

Как показывает расчет, при годовой производительности карьера 10 млн т горной массы потребление топлива потребным парком автосамосвалов составит 94–200 тыс. л/год. Ежегодная экономия за счет внедрения системы транспортирования горных пород с использованием перегрузочных пунктов со сквозным проездом 84–182 тыс. долл. на каждые 10 млн т вынимаемой горной породы.

Для обоснования эффективности предлагаемой конструкции рассчитан экономический эффект на примере нескольких железорудных карьеров Украины и Казахстана. Учитывались следующие параметры: ширина карьера в верхней и нижней части, проектная глубина, мощность залежи, радиус поворота и ширина карьерных самосвалов, себестоимость выемки 1 м<sup>3</sup> горной породы [21, 22].

Предлагаемая инженерная конструкция механизированного перегрузочного пункта также рекомендуется к внедрению при разработке маломощных неметаллических месторождений с высокой производственной мощностью [23].

На рис. 4 показаны расчетные зависимости общей экономии средств на выемке горных пород при сооружении перегрузочного пункта со сквозным проездом в сравнении с тупиковой разгрузкой самосвалов от их грузоподъемности в условиях карьеров Украины и Казахстана. Из графиков, представляющих степенную функцию, очевидно, что эффективность предлагаемого конструкторского решения повышается с увеличением грузоподъемности самосвала. Экономия средств обусловлена сокращением объемов выемки горных пород при сооружении перегрузочного пункта со сквозным проездом.

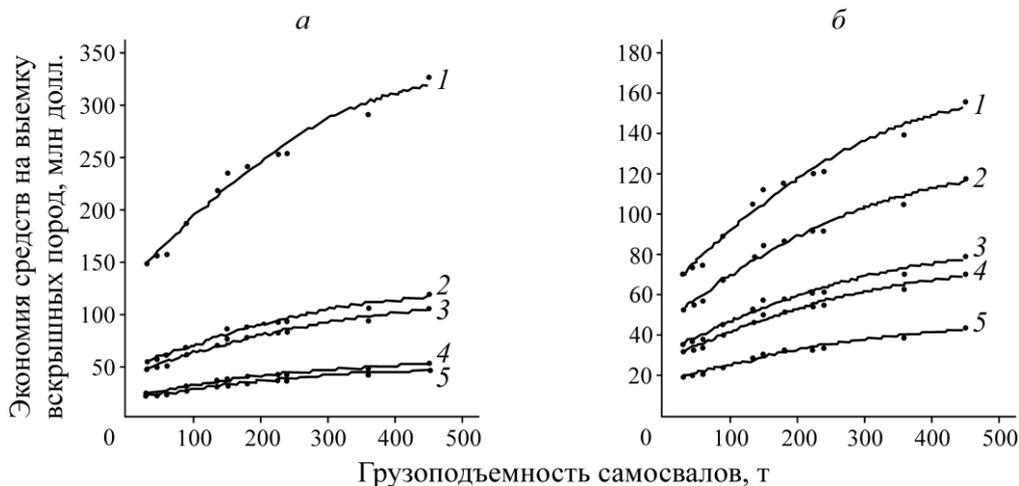


Рис. 4. График зависимости экономии средств на выемку вскрышных пород при сооружении перегрузочного пункта со сквозным проездом от грузоподъемности карьерных самосвалов для карьеров Украины (а): 1 — объединенный карьер Пивденный ГЗК “Арселор Металл”, Кривой Рог; 2 — Пивденный ГЗК; 3 — Ингулецкий ГЗК; 4 — Еристовка ГЗК; 5 — Ганнивка ГЗК “Пивничный” и Казахстана (б): 1 — Качарский; 2 — Сарбайский; 3 — Соколовский; 4 — Южный-Сарбайский; 5 — Куржункульский

## ВЫВОДЫ

В автомобильно-конвейерных транспортных системах на глубоких горизонтах карьеров наиболее эффективны перегрузочные пункты со сквозным проездом автосамосвалов, обеспечивающие снижение объемов удаляемых горных пород. Ежегодная экономия за счет внедрения системы транспортирования горных пород с использованием перегрузочных пунктов со сквозным проездом составит 84–182 тыс. долл. на каждые 10 млн т вынимаемой горной породы, а потребление дизельного топлива снизится на 100–200 тыс. л в год.

В условиях железорудных карьеров Украины внедрение подобной системы для разгрузки породы в бункер со сквозным проездом автосамосвалов позволит получить общий экономический эффект 30–80 млн долл. (при использовании автосамосвалов грузоподъемностью 136 т). Введение циклично-поточной технологии горных работ с помощью перегрузочного пункта предлагаемой конструкции на карьере, строительство которого предусматривается на базе Склеватского, Валиавкинского и Новокриворожского железорудных месторождений, сократит инвестиционные вложения на 150–320 млн долл. Ожидаемый экономический эффект от применения предлагаемого перегрузочного пункта на карьерах Республики Казахстан составит 30–160 млн долл.

Авторы благодарят коллег Университета прикладных наук Аль-Балка (Иордания) и Национального горного университета (Украина) за оценку и экспертную помощь при проведении данного исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dryzhenko A. Yu.** Open-pit mining: a guide, Dnipropetrovsk: NMU, 2014.
2. **Korolenko M. K., Perehudov V. V., Fedin K. A., Romanenko A. V., and Protasov V. P.** The improvement of shovel and truck methods for rock hoisting in the context of Yuzhny GOK OJSC: monograph, KryvyRih: Dionis, 2012.
3. **Shustov O. and Dryzhenko A.** Organization of dumping stations with combined transport types for iron-ore deposits, *Mining of Mineral Deposits*, 2016, Vol. 10, No. 2. — P. 78–84. URL: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078>
4. **Gruzdev A. V., Osadchy A., and Furin V. O.** Stationary and transportable crushing handling plants manufactured by Uralmash, *Mining Industry J.*, 2012, No. 4. — P. 98.
5. **Smirnov V. P. and Lel Yu. I.** Theory of open-pit heavy-duty vehicles, Yekaterinburg: UD RAS, 2002.
6. **Pavlov A. Yu., Rohach M. S., Klubnichkin Ye. K., Ivanova Ye. Ye., and Propletin A. P.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 880931, USSR, 1993.
7. **Markov N. G., Smetanin V. G., Istomin L. V., and Dereshevaty O. Ye.** Facilities to unload dumpers over a bunker, Patent #713801, USSR, 1980.
8. **Pashkin B. M. and Markozian P. D.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 135021, USSR, 1961.
9. **Anikin N. N., Kuprii V. T., and Chaikovki A. I.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 988726, USSR, 1983.
10. **Tartakovski B. N., Krymski V. I., Andriushchenko A. V., Lashko V. T., and Anikin N. N.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 718346, USSR, 1980.
11. **Pashkin B. M. and Popov A. N.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 132123, USSR, 1960.
12. **Anikin N. N., Chaikovki A. I., and Parshkin E. M.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 933589, USSR, 1982.
13. **Dryzhenko A. Yu., Shmitko A. I., Symonenko V. I., Krytov A. E., and Byrin I. S.** Facilities to unload dumpers into a bunker, Patent # 1090649, USSR, 1984.
14. **Makashov V. N., Kobrynski G. M., Dryzhenko A. Yu., and Greenberg E. M.** Facilities to unload dumpers, Patent # 1057393, USSR, 1983.
15. **Menshikov B. A. and Sisin A. G.** Bridge for over-bunker dumper unloading, Patent # 606796, USSR, 1978.
16. **Budanov V. Ye., Koriakin A. I., and Lokhanov B. N.** Bridge for over-bunker dumper unloading, Patent # 800077, USSR.
17. **Dryzhenko A. Yu., Adamchuk A. A., Shustov O. O., Moldabaiev S. K., and Nikiforova N. A.** Facilities to unload rock into a bunker, Patent # 123290, Ukraine, 2018
18. **Adamchuk A. A.** Analyzing parameters for deep open-pit overmining. Collection of scientific papers of the NMU, 2017, No. 50. — P. 10–17.
19. **Babets Ye. K., Melnikova I. Ye., Hrebenuk S. Ya., and Lobov S. P.** Analyzing technical-and-economic indices of mining enterprises of Ukraine and their efficiency in the context of varying conjuncture of the world iron-ore market: monograph. KryvyRih: Publisher — R.A. Kozlov, 2015.

- 20. Shapar A. G., Lashko V. T., Novozhylov S. M., Kuchersky N. I., Malygin O. N., Prokhorenko G. A., Shemetov P. A., Kolomnikov S. S., and Davronbekov U. Yu.** Reloading points under motor-conveyor transport in ore open pits: monograph. Dnipropetrovsk: Poligrafist, 2001.
- 21. Dryzhenko A., Moldabayev S., Shustov A., Adamchuk A., and Sarybayev N.** Open-pit mining technology of steeply dipping mineral occurrences by steeply inclined sublayers. 17<sup>th</sup> Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 2017. — P. 599–605.
- 22. Dryzhenko A., Shustov A., and Moldabayev S.** Justification of parameters of building inclined trenches using belt conveyors. 17<sup>th</sup> Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 2017. — P. 471–478.
- 23. Chernyaev O. V.** Systematization of the hard rock non-metallic mineral deposits for improvement of their mining technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2017, No. 5. — P. 11–17.

*Поступила в редакцию 18/IX 2019*

*После доработки 11/XI 2019*

*Принята к публикации 27/XI 2019*