

УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ С КРУТОНАКЛОННЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ

© A. Shustov

IDENTIFICATION OF TECHNICAL-AND-ECONOMIC INDEXES OF OPEN-PIT DUMP TRUCKS IN CONJUNCTION WITH STEEPLY INCLINED CONVEYORS

Выполнен анализ работы автосамосвалов и крутонаклонных конвейеров в условиях глубоких железорудных карьеров. Рассмотрена технологическая схема к расчету переноса дробильно-перегрузочных пунктов с выделением оптимальных зон работы железнодорожного и автомобильно-конвейерного транспорта. Обоснованы параметры рабочей зоны глубокого карьера с учетом расположения комбинированных видов транспорта. Рассчитан экономический эффект предложенной схемы по замене наклонного ленточного конвейера на крутонаклонный в условиях Качарского карьера Республики Казахстан.

Виконаний аналіз роботи автосамоскидів і крутопохилих конвеєрів в умовах глибоких залізорудних кар'єрів. Розглянута технологічна схема щодо розрахунку перенесення дробарно-перевантажувальних пунктів з виділенням оптимальних зон роботи залізничного та автомобільно-конвеєрного транспорту. Обґрунтовані параметри робочої зони глибокого кар'єру з урахуванням розміщення комбінованих видів транспорту. Розрахований економічний ефект по заміні похилого стрічкового конвеєра на крутопохилий в умовах Качарського кар'єру Республіки Казахстан.

Введение. При разработке крутопадающих месторождений карьеры характеризуются интенсивным понижением горных работ, уменьшением площади рабочей зоны, большим количеством (30 и более) одновременно разрабатываемых уступов, сложностью организации вскрытия и отработки глубинной части месторождения. В этой связи на глубоких карьерах для перевозки горной массы широко применяется два вида транспорта: автомобильный и железнодорожный. Практика показывает, что наиболее высокие технико-экономические показатели присущи электрифицированному железнодорожному транспорту с применением тяговых агрегатов. Однако небольшие преодолеваемые подъемы, значительные радиусы кривых, сложность обмена составов не позволяют самостоятельно использовать железнодорожный транспорт на глубине более 300 – 350 м [1].

Состояние вопроса. Автосамосвалы обладают высокой мобильностью, не требуют устройства в карьере капитальных дорог, способны преодолевать значительные подъемы и работать в стесненных условиях. Грузоподъемность их относительно невелика, а стоимость перевозки горной массы в 8 – 10 раз больше по сравнению с железнодорожным транспортом. Вследствие этого область их применения ограничена глубиной 120 – 150 м. Поэтому при разработке глубоких горизонтов для перевозки горной массы, как правило, применяют комби-

нированный вид транспорта. Различное сочетание его составных звеньев объясняется стремлением максимально использовать достоинства как железнодорожного, так и автомобильного транспорта, устранив по возможности их недостатки. Эффективность применения той или иной схемы карьерного транспорта зависит от уровня технико-экономических показателей как непосредственно при перевозке горной массы, так и в смежных погрузочно-разгрузочных операциях. Большое значение при этом имеет организация перегрузочных работ при совместной эксплуатации автосамосвалов, локомотивосоставов и конвейерного транспорта. В этой связи необходимо рассмотреть вопрос выбора оптимальной модели автосамосвала, обосновать его грузоподъемность, а также выполнить расчет дальности транспортирования горной массы в зависимости от принятой технологии отработки полезного ископаемого.

Основная часть. Известно, что оптимальное экономически-обоснованное расстояние транспортирования породы для автотранспорта составляет 1,5 – 2 км. Далее для подъема горной массы на верхние горизонты рационально использовать крутонаклонные ленточные конвейеры (КНК) с углом наклона трассы до 42°. Это позволит снизить объемы выемки пород вскрыши, избежать разноса рабочего борта, значительно повысить показатели работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования [2].

Для улучшения ритма работы горного предприятия, сглаживания неравномерности добычи и транспортирования горной массы на многих зарубежных карьерах устанавливают бункеры различной конструкции и вместимости. В настоящее время они получили широкое применение, как на открытых, так и на подземных горных работах. Так, на железорудных карьерах США и Канады наибольшее распространение получила бункерная перегрузка, позволившая практически полностью автоматизировать одну из наиболее трудоемких операций. На перегрузочные пункты горная масса доставляется в основном автотранспортом, иногда его дополняет наклонный конвейер незначительной протяженности для перемещения горной массы под уклон по склону возвышенности (карьер "Эвелет") или для преодоления подъема по кратчайшему расстоянию (карьер "Резерв"). Это позволяет снизить эксплуатационные расходы на автотранспорт, особенно расходы на шины. Автосамосвалы работают на сравнительно небольшом плече откатки – 1,5 – 2 км, за исключением глубоких карьеров, где среднее расстояние составляет 3 км ("Резерв", "Кэрл Лейк").

Помимо указанных карьеров бункерную погрузку используют на урановом карьере "Пакуак" (США) и железорудном карьере "Роуп Ривер" (Австралия). На первом руда загружается в 50-тонные автосамосвалы ковшовым погрузчиком и доставляется к приемным бункерам на расстояние 1,5 км, затем по железной дороге транспортируется на обогатительную фабрику в Блувокер. На втором – 100-тонные автосамосвалы транспортируют руду в среднем на расстояние 2,2 км к бункеру вместимостью 300 т, расположенном на уровне автодороги. Руда пластинчатым конвейером загружается в 100-тонные думпкары и перевозится на расстояние 168 км в порт Кейп Ламберт, где находится дробильно-сортировочная и агломерационная фабрики. В составе 105 вагонов грузоподъ-

емностью по 100 т. Каждый поезд следует с двумя тепловозами Алко М636. Максимальный подъем в грузовом направлении 5‰, в порожнем – 13‰.

Технологические схемы с перемещением горной массы ленточными конвейерами в условиях глубоких карьеров характерны весьма жесткой взаимосвязью между последовательными звеньями работы сборочного транспорта (автосамосвалы или железнодорожные поезда), дробильно-перегрузочных установок, передаточных конвейеров, системы конвейерных установок в единой магистральной линии и перегрузочных пунктов между ними. Выход из строя одной конвейерной установки или ПП приводит к остановке всей технологической цепи. В этой связи для повышения работоспособности технологических систем возможны следующие пути: повышение надежности конвейерных установок на этапе их проектирования и изготовления; применение внутрикарьерных аварийных складов; оборудование промежуточных аккумулирующих бункеров, включаемых в состав конвейерных линий; увеличение количества параллельно работающих конвейерных линий в карьере. В качестве резервных элементов применяются внутрикарьерные ПП для загрузки конвейеров (грохота, дробилки, экскаваторы, погрузчики и т.п.), конвейерные установки, ПП между смежными конвейерными установками в конвейерной линии, питатели и передающие конвейеры между ними [2-3].

Дробление скальных пород может производиться щековыми или конусными дробилками крупного дробления. Производительность их обычно определяют по данным каталогов с поправками на крепость, насыпную плотность и крупность дробимого материала. При этом тип дробилки должен соответствовать физико-механическим свойствам транспортируемых пород, а ее производительность – расчетной производительности ленточного конвейера. При оборудовании ПП на нижних горизонтах глубоких карьеров наряду с указанными факторами особое значение приобретают габаритные размеры дробилок, поскольку от них зависят размеры верхней площадки концентрационного горизонта и высота перемещения дробимой породы на ленточный конвейер. Кроме того, при размещении дробилок в подземных камерах их габариты существенно влияют на стоимость горностроительных работ. Щековые дробилки более компактны, чем конусные и имеют значительно меньшую высоту. Однако их производительность ниже в 2,1 – 2,6 раза, что существенно ограничивает их применение при эксплуатации технологических конвейерных линий производительностью до 6 тыс. т/ч. Поэтому до настоящего времени на большинстве железорудных карьеров в системах комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта со стационарными пунктами перегрузки применяют конусные дробилки.

Ленточные конвейеры являются не только наиболее экологичным видом транспорта, но и позволяют перемещать горную массу с минимальными затратами. В Кривбассе применяют их в основном для подъема руды с глубоких горизонтов. При необходимости ими перемещают также и вмещающие породы. Для надежной эксплуатации конвейерной ленты транспортируемый материал дробится до крупности 350 – 400 мм в конусных дробилках, которые могут быть стационарными или передвижными. Крупность исходной горной массы достигает 1200 мм, крепость – 20 по шкале проф. Протодяконова М.М. Для оборудо-

дования дробильно-перегрузочного пункта (ДПП) в карьере требуется устройство горизонтальной площадки длиной 80 – 120 м и шириной 40 – 60 м. Большой объем горных работ по оформлению борта карьера и строительству ДПП задерживал ввод конвейерных подъемников в эксплуатацию до 5 – 9 лет.

В настоящее время глубина большинства карьеров составляет 300 – 360 м. Вертикальная высота подъема горной массы к ДПП автосамосвалами достигает 130 – 200 м, что чрезмерно удорожает горные работы. Поэтому утвержденными техническими проектами предусмотрено удлинение действующих конвейерных подъемников по глубине на 90 – 105 м с размещением стационарных или передвижных ДПП на концентрационных горизонтах. Такая горнотранспортная система предусматривает перемещение горной массы из зоны углубки карьера автомобильно-конвейерным транспортом. С удалением от нее по горизонтали на расстояние более 1 – 1,5 км – автомобильно-железнодорожным. Вышележащие горизонты отрабатываются с применением железнодорожного транспорта [3-4].

Производя углубку карьера по одному из торцов карьерного поля возможно сформировать значительное пространство *C* для постоянного или временного складирования вскрышных пород (рис.). Такие технологии достаточно апробированы и повсеместно применяются на железорудных карьерах Украины. Развитие рабочей зоны карьера позволяет в ее пределах разместить постоянные трассы железнодорожных путей и конвейерных подъемников с временными автомобильными и железными дорогами в зоне *A*.

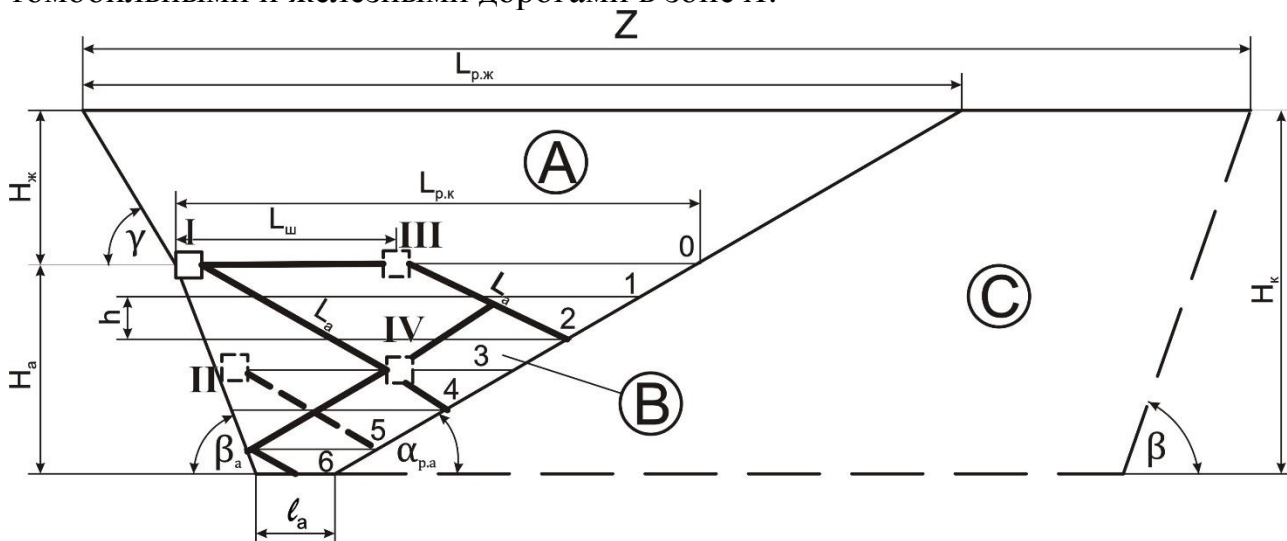


Рис. Схема к расчету параметров шага переноса дробильно-перегрузочного пункта в глубоких карьерах: *A*, *B* – область зоны работы железнодорожного и автомобильно-конвейерного транспорта; *C* – область формирования внутреннего отвала; I – IV положения ДПП в зоне углубки; 0 – 6 – вскрываемые горизонты

Параметры рабочей зоны определяются по формулам:

– длина по поверхности Z (м)

$$Z = H_{ж} \operatorname{ctg} \beta_{ж} + H_a \operatorname{ctg} \beta_a + l_a + H_к \operatorname{ctg} \alpha_{p.a}; \quad (1)$$

– длина верхнего горизонта зоны автомобильно-конвейерного комплекса

$L_{p.k}$ (м)

$$L_{p.k} = l_a + H_a (\operatorname{ctg} \beta_a + \operatorname{ctg} \alpha_{p.a}); \quad (2)$$

где $H_{жс}$, H_a – высота зоны действия железнодорожного и автомобильно-конвейерного транспорта, м; $\beta_{жс}$, β_a – углы откоса нерабочих бортов в зонах действия железнодорожного и автомобильно-конвейерного транспорта, град; H_k – предельная глубина карьера, м; $\alpha_{p.a}$ – угол откоса рабочего борта карьера, град.

При углубке горных работ на верхних горизонтах зоны B растет длина транспортирования в горизонтальном направлении и при определенном количестве рабочих горизонтов n (ед.) становится равной наклонной части автомобильных дорог, т.е.

$$nh(\operatorname{ctg} \beta_a + \operatorname{ctg} \alpha) + l_a = \frac{1000nh_y}{i_{p.a}} \quad (3)$$

Установлено, что при высоте уступа 15 м, руководящем подъеме 80‰, углах $\beta_a = 40^\circ$ и $\alpha_{p.a} = 12^\circ$ горизонтальный участок автодорог наблюдается только при обслуживании шести горизонтов общей высотой 90 м. Более глубокие горизонты характеризуются затяжными подъемами автодорог без горизонтальных участков.

Создание передвижных дробильно-перегрузочных пунктов (ПДПП) позволяет мобильно перемещать их вслед за продвижением экскаваторных забоев. Вследствие этого расстояние откатки горной массы не превышает 1,2 км. При этом длина горизонтального участка автодорог определяется из выражения

$$L_{a.z} = n h_y (\operatorname{ctg} \beta_a + \operatorname{ctg} \alpha_{p.a}) \geq L_{бвр}, \quad (4)$$

где $L_{бвр}$ – безопасная зона ведения буровзрывных работ в карьере, м.

Шаг передвижки ПДПП в горизонтальном направлении $L_{ш}$ (м) (см. рис., расположения III и IV) определяется по формуле:

$$L_{ш} = L_{p.k} - L_{a.z}, \quad (5)$$

и для ранее приведенных условий составляет 1000-1250 м. Время перемещения ПДПП из положения I в положение II и соответственно из I в III и из II в IV (см. рис.) определяется по формуле

$$T = \frac{nh}{h_z}, \text{ лет.}$$

где h_z – темп углубки карьера, м/год. При $h_z = 5 - 7$ м/год, $T = 13 - 18$ лет.

Производительность и количество ПДПП, количество рабочих автосамосвалов принимаются в соответствии с установленной производственной мощностью карьера по горной массе. В наклонной вскрывающей выработке располагается постоянный конвейерный подъемник, по горизонту – временный, передвижной. Рассмотренная технология работ позволяет в карьерах с длиной по простиранию более 3 – 3,5 км организовать внутреннее отвалообразование вскрышных пород. Параметры внутренних отвалов и технология их формирования устанавливаются в зависимости от достигнутой глубины карьера. Таким образом, достигается не только минимальная стоимость добычи железной руды, но и экологическая защита за счет предотвращения нарушения земель внешними отвалами [1,5].

Так, в условиях Качарского карьера (Казахстан) расчетные объемы экскаваторной перегрузки руды и скальной породы из автомобильного на ж.-д. транспорт были определены в размере 17-18 млн. т/год. I очередь крутонаклонного рудно-породного конвейерного подъемника на производительность 15 млн.т/год должна была сооружаться в южном борту карьера по мере его формирования в конечном положении. Горную массу автосамосвалами предусматривалось загружать на конвейер на гор.-90 м и разгружать с конвейера в ж.-д. составы на гор. ± 0 м, откуда через станции 45 м и 97 м доставлять на поверхность.

Рабочая зона рудно-скальных горизонтов в диапазоне -165÷30 м представлена, в основном, временно нерабочими бортами (ВНБ). Активный рабочий фронт небольшой протяженности с площадками шириной более 30 м расположен на 3 нижних горизонтах -150 м, -135 м, -120 м и на горизонте -90 м. Дальнейшее продвижение блокируется находящимся на гор. 48 м комплексов экскаваторных перегрузочных складов. Дальнейший разнос ВНБ в этом направлении возможен лишь после отодвигания рыхлых уступов выше отметки 45 м и переноса перегрузочных складов в плане на 150 – 160 м.

Поскольку основной задачей проектных решений по отработке запасов Качарского карьера является увеличение объемов добычи руды до 23 млн. т за счет вовлечения в отработку Южного участка при глубине до 750-760 м, выполнен расчет технико-экономических показателей работы автомобильного транспорта в комплексе крутонаклонными конвейерами на примере карьера Полтавского ГОКа. Выполненные исследования по замене наклонного конвейера на крутонаклонный на перегрузочном пункте карьера Полтавского ГОКа позволили рассчитать экономический эффект по реализации технологических решений при транспортировании горной массы на высоту до 120 м. При этом для расчета технико-экономических показателей целесообразности применения КЛТК использовались следующие исходные данные:

- ширина ленты конвейера $B = 2$ м;
- скорость движения ленты $V = 2$ м/с;
- угол наклона конвейера $\alpha = 42^\circ$;
- необходимая годовая производительность $V_{г.м} = 23$ млн.т/год

Вертикальной высота транспортирования горной массы:

$$H = 90 + 30 = 120 \text{ м}, \quad (6)$$

Расчет длины конвейера:

$$L_k = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{120}{\sin 42^\circ} = 159,7 \text{ м}, \quad (7)$$

Необходимая часовая производительность конвейера:

$$Q_{к.ч} = \frac{V_{г.м}}{t_{к.год}} = \frac{22000000}{7000} = 3142 \text{ т/ч}, \quad (8)$$

В связи с этим принят крутонаклонный конвейер со следующими техническими характеристиками:

Таблица

Технические характеристики КЛТК

Ширина ленты, мм	2000
Скорость движения ленты, м/с	2
Количество тяговых лент, шт	3
Теоретическая производительность при подъеме до 300 м, т/ч	3500
Максимальный угол наклона конвейерной установки	42°
Привод	двухбарабанный
Мощность привода, кВт	2x800

Проверка годовой производительности конвейерной установки

$$Q_{к.год} = t_{к.год} \times Q_{теор.} = 7000 \times 3500 = 24 \text{ млн.т/год}, \quad (9)$$

где $t_{к.год} = 7000$ часов – годовое количество часов работы конвейера;

$Q_{теор.} = 3500$ т/ч – теоретическая производительность конвейерной установки.

Из расчета видно, что установленная производительность крутонаклонного конвейера в 24 млн.т/год выше по сравнению запланированной проектом строительства Качарского карьера с вовлечением запасов Южного участка. Поэтому эффективность замены ленточных конвейеров на крутонаклонные является экономически выгодной и обоснованной.

После транспортирования крутонаклонным конвейером на горизонт +30, горная масса с помощью отвалообразователя укладывается в штабель высотой 12 м, затем осуществляется ее перегрузка в железнодорожный транспорт с помощью экскаватора. При высоте штабеля 12 м а также исходя из годовой производительности конвейера наиболее эффективно использование экскаватора типа ЭКГ-10.

В соответствии со свойствами горных пород, с существующей комбинированной системой разработки в Днепроовского рудоуправления применяют в качестве выемочно-погрузочного оборудования, при добыче руды K_2^2 , K_2^3 , механическую лопату типов ЭКГ-8И, ЭКГ-ЮМ, ЕХ 3600-5 и РС 3000.

Целью экономической эффективности является оценивание целесообразности внедрения предлагаемого проектного решения для транспортирования руды на поверхность. Это подразумевает под собой определение затрат на сооружение новой технологической схемы комплекса перемещения руды крутонаклонным подъемником, расчет затрат на обслуживание и эксплуатацию цепи конвейеров и бутобойной установки, расчет себестоимости конечного продукта, определение сроков окупаемости вложенных средств.

Предлагаемая схема цепи конвейеров включает в себя следующие капитальные затраты:

- суммарная стоимость конвейерной ленты;
- бутобой;
- вытяжной конвейер;
- крутонаклонный ленточно-тележечный конвейер.

При этом капитальные затраты составят:

$$Q_{к.зод} = t_{к.зод} \times Q_{теор.} = 7000 \times 3500 = 24 \text{ млн.т/год}, \quad (10)$$

где $C_{к.л}$ – суммарная стоимость конвейерной ленты, \$;

$C_{м.о}$ – стоимость оборудования исходя из его металлоемкости, \$.

Эксплуатационные расходы включают в себя затраты на материалы, заработную плату (основную и дополнительную), начисления на заработную плату, электроэнергию, амортизацию.

$$C_{экспл.} = C_m + C_{з.п.} + C_{нач.} + C_э^{сбор} + C_a, \$, \quad (11)$$

где: C_m – затраты на материалы, \$/мес;

$C_{з.п.}$ – затраты на заработную плату, \$/мес;

$C_{нач.}$ – начисления на заработную плату, \$/мес;

$C_э^{сбор}$ – затраты на электроэнергию, \$/мес;

C_a – амортизационные отчисления, \$/мес.

Выполнив все необходимые расчеты возможно определена эффективность реализации предложенных решений. При этом разница в себестоимости доставки руды на горизонт +30 м по предложенной схеме составит:

$$(2,8844 - 1,3) * 23000000 = 34856800 \text{ \$/год.}$$

Учитывая возможные альтернативные вложения денежных средств при банковской ставке по депозиту 14% прибыль предприятия за 1 год составит:

$$\Xi = C * 0,14 = 34856800 * 0,14 = 4879952 \text{ \$/год}$$

Итого годовой экономический эффект согласно предложенному решению составит 39736752 \$/год.

Выводы.

1. Эксплуатация глубоких карьеров характеризуется повсеместным применением большегрузных автосамосвалов для доставки горной массы на перегрузочные пункты, расположенные внутри рабочей зоны или поверхности с последующей перегрузкой в думпкары железнодорожного транспорта или дробилки крупного дробления с последующей выдачей на поверхность конвейерами. При этом рациональное расстояние работы автосамосвалов находится в пределах не более 1,0 – 1,5 км, в некоторых случаях в глубоких карьерах достигает 3 км.

2. Организация работы перегрузочных пунктов характеризуется непосредственной перегрузкой скальных пород в думпкары или дробилки, а также, более часто, с устройством бункера-накопителя. Вместимость бункера-накопителя предусматривает размещение породы из 3 – 6 автосамосвалов, которые разгружаются по одному или двум-трем одновременно.

3. Повышение надежности и производительности ленточных конвейеров при комбинированном транспорте обеспечивается наличием аккумулирующих бункеров в конвейерной линии, увеличением количества параллельно работающих конвейеров в карьере, увеличении производительности отдельных конвейеров и дробилок.

4. Представлена методика определения основных технико-экономических показателей комбинированных видов транспорта с внутрикарьерным автомобильным звеном. Для типовых карьеров установлены конкретные численные показатели.

5. Для условий Качарского карьера установлены основные показатели работы крутонаклонных ленточных конвейеров в одной цепи с перегрузочным экскаватором. Обоснованы параметры крутонаклонных конвейеров, условия их эксплуатации, эксплуатационные и капитальные затраты на их установку. Годовой экономический эффект от внедрения предложенной схемы компоновки крутонаклонных конвейеров составит более 4,8 млн. долларов США.

Перечень ссылок

1. Дриженко А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования: моногр. / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус. – Д.: НГУ, 2009. – 452 с.
2. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д-ск.: НГУ, 2011. – 542 с.
3. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2017. – 590 с.
4. Ракишев Б.Р. Ресурсосберегающие технологии на открытых горных работах: Учебное пособие. / Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев. - Алматы, КазНТУ, 2015. – 196 с.
5. Адамчук А.А. Исследование параметров доработки глубоких карьеров открытым способом / А.А. Адамчук // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2017. – №50. – С. 10 – 17.

ABSTRACT

Purpose. To substantiate efficiency effect of using open-pit dump trucks with big capacity in conjunction with dumping stations and steeply inclined belt conveyors.

The methodology of research is to determination of main technical-and-economic indexes combined types of transport with inside open-pit trucks section

Findings. The parameters of working area deep iron-ore quarries for the purpose of determination exploitation zones of railway and conveyors transport are substantiated. The practicability of using steeply inclined belt conveyors instead inclined in order to increase open-pit raw ore capacity to 3 – 5 millions tpa is proved. The economic effect from practical use of technological scheme of arrangement steeply inclined conveyors is more than 4.8 mln. \$/y.

The originality is to establish of using area of combined types transport taken in conjunction with parametric variations of working space deep iron-ore quarries at prescribed intensity of bench turnover rate

Practical implications is to development of technological scheme of transportation coarse rock using steeply inclined belt conveyors in complex with dumping stations and open-pit trucks.

Keywords: *iron-ore quarry, working area, dumping stations, steeply inclined belt conveyors, open-pit trucks, rock mass, technical-and-economic indexes*