

М. С. Четверик /д. т. н./

Институт геотехнической механики
им. Н. С. Полякова Национальной академии
наук Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: chetverik.mihail@inbox.ru

Т. И. Акилбаев

Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан
e-mail: tima.088@mail.ru

Рациональные области расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне глубоких карьеров при комбинированных видах транспорта

M. S. Chetverik /Dr. Sci. (Tech.)/

Institute of Geotechnical Mechanics
NS Polyakova NAS Ukraine, Dnepr, Ukraine
e-mail: chetverik.mihail@inbox.ru
Kazakh National Research Technical University
after K. I. Satpayev, Almaty, Republic
of Kazakhstan
e-mail: tima.088@mail.ru

Т. I. Akilbaev

Rational areas to locate load/unload stations within the operating zone of deep open-pits in terms of combined modes of transport

Целью работы является определение рациональных областей расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне глубоких карьеров при комбинированных видах транспорта.

Результаты. На основе энергетической оценки применения комбинированных видов транспорта в глубоких карьерах, распределения объемов вскрышных пород и полезного ископаемого по глубине карьера, параметров схем вскрытия определены рациональные области расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне глубоких карьеров. Установлено, что минимальные расстояния автоперевозок могут быть достигнуты при минимальной высоте расположения перегрузочного пункта относительно нижних горизонтов рабочей зоны. Этого можно достичь при применении мобильных перегрузочных пунктов, которые могут быть сооружены в короткое время.

Научная новизна. На основании установленных зависимостей распределения объемов горной массы по глубине карьера, определены рациональные области применения видов комбинированного транспорта. Установлена зависимость параметров схем вскрытия от расположения перегрузочного пункта в рабочей зоне карьера.

Практическая значимость. Установлены рациональные области расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне глубоких карьеров при комбинированных видах транспорта. (Ил. 7. Библиогр.: 7 назв.)

Ключевые слова: глубокие карьеры, комбинированный транспорт, перегрузочные площадки, схемы вскрытия.

Введение. При открытой разработке месторождений затраты на технологический транспорт составляют около 50 % в себестоимости добычи полезного ископаемого. При увеличении глубины карьеров доля затрат достигает 55–60 %. Поэтому вопросы развития и совершенствования карьерного транспорта являются одними из основных для открытых горных разработок. На глубоких карьерах наиболее широко применяют автомобильный, железнодорожный и кон-

вейерный транспорт. Каждый вид транспорта имеет свою область эффективного применения в зависимости от объема перевозок, расстояния транспортирования, параметров карьера и др. Поскольку глубокие карьеры по своим размерам имеют различные параметры рабочих зон по глубине карьера, то применяют как отдельные, так и комбинированные виды транспорта. В то же время рациональные области расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне

глубоких карьеров при комбинированных видах транспорта изучены недостаточно.

Последовательность исследований. Вначале рассмотрены энергетические затраты отдельных видов карьерного транспорта при подъеме грузов. На этой основе определили энергетические затраты подъема грузов при комбинированных видах транспорта. Затем установили зависимости распределения объемов вскрышных пород и полезного ископаемого по глубине карьера. Используя установленные зависимости распределения объемов, определили рациональные области применения видов комбинированного транспорта. Затем установили зависимость параметров схем вскрытия от расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне карьера. Установили, что минимальные расстояния автоперевозок могут быть достигнуты при минимальной высоте расположения перегрузочного пункта относительно нижнего горизонта рабочей зоны. Этого можно достичь при применении перегрузочных пунктов, которые могут быть мобильными и сооружены в короткое время. Для их переноса на нижние горизонты необходим глубокий ввод железнодорожного транспорта.

1. Энергетическая оценка видов транспорта

На глубоких карьерах применяют автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт как самостоятельные виды транспорта и в комбинации. При этом используют преимущества каждого вида транспорта в их комбинации. Используют маневренный автомобильный транспорт в экскаваторных забоях, а железнодорожный и конвейерный – как магистральный для транспортирования груза на поверхность. Важной является энергетическая оценка применяемых видов транспорта на глубоких карьерах. Г. И. Ворошилов и Ю. И. Лель (рис. 1) предложили энергетическую оценку видов транспорта определять путем приведения расхода электроэнергии и дизельного топлива к расходу первичных энергоресурсов, т. е. к «условному топливу» (у. т.). При этом учитывают соответствующие им затраты энергии на их добычу, переработку и транспортирование. В качестве «условного топлива» используют угольный эквивалент – 7000 ккал (29,3 МДж) – теплота, которая выделяется при сжигании 1 т высококачественного угля. Исходя из основных функций транспорта глубоких карьеров, в качестве критерия принята величина удельных затрат энергии на подъем 1 т горной массы из карьера.

Следует отметить, что приведенная энергетическая оценка видов транспорта не учитывает стоимостных показателей на используемую энергию. А их изменения могут существенно

влиять на эффективность применения транспорта. Как следует из приведенных на рис. 1 зависимостей, наиболее энергоемким является автомобильный транспорт. Он же имеет наименьший коэффициент использования энергии [1]. Это исходит из сравнения трех видов транспорта:

– автомобильный:

$$i_{cp} = 80 \% e_{AT} = 0,07 \text{ МДж/т}\cdot\text{м}, \eta_{AT} = 14 \%$$

– электровозный:

$$i_{cp} = 25 \% e_{ЭТ} = 0,058 \text{ МДж/т}\cdot\text{м}, \eta_{ЭТ} = 18 \%;$$

– конвейерный:

$$i_{cp} = 16 \% e_{КТ} = 0,022 \text{ МДж/т}\cdot\text{м}, \eta_{КТ} = 50 \%.$$

Автомобильный транспорт только 14 % энергии использует на подъем груза, а конвейерный – 50 %.

Следует остановиться еще на недостатках большегрузного автомобильного транспорта, применяемого на глубоких карьерах. Он заключается в ограничении им высоты подъема груза. Ранее это ограничивалось нагревом двигателей мотор-колеса. Теперь эта проблема решена. Но появилась новая: при больших расстояниях (свыше 5 км) происходит небезопасный нагрев шин, что ограничивает высоту подъема горной массы автомобильным транспортом.

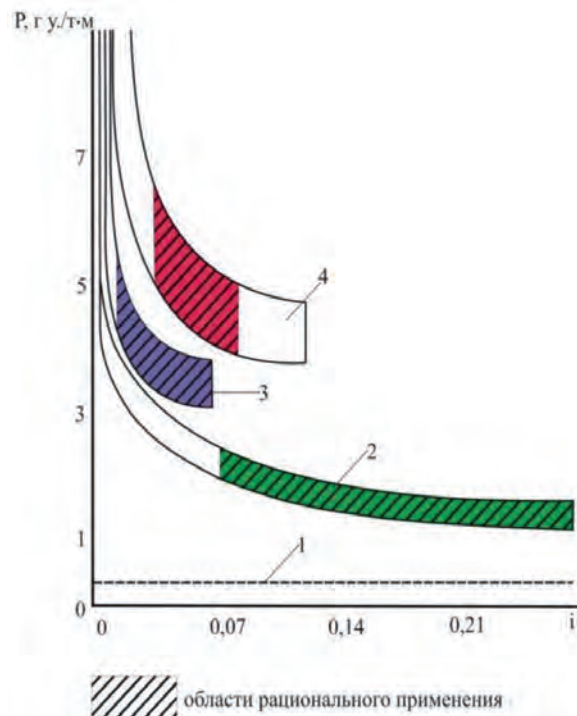


Рис. 1. Энергетические затраты по видам транспорта от уклона:

1 – энергетические затраты теоретические – $R_t = 0,335 \text{ г у.т./м}$; 2, 3, 4 – соответственно, конвейерный, железнодорожный, автомобильный транспорт (по Г. И. Ворошилову, Ю. И. Лелю)

2. Комбинированные виды транспорта: автомобильно-железнодорожный и автомобильно-конвейерный

По предложенной Г. И. Ворошиловым и Ю. И. Лелем методике произведена оценка комбинированных видов транспорта (рис. 2). Для этого определяли энергоёмкость комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта при подъеме горной массы с увеличением уклонов от 0,03 до 0,09 через каждые 100 метров.

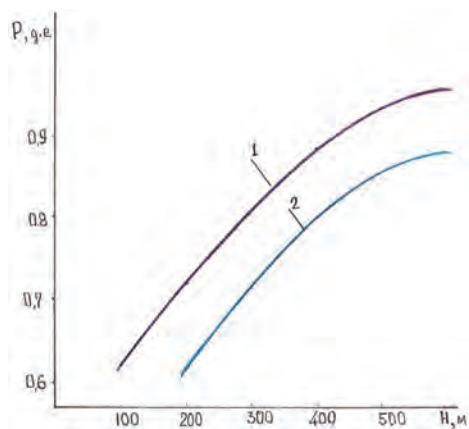


Рис. 2. Изменение энергетических затрат с увеличением глубины карьера при видах комбинированного транспорта:

1 - автомобильно-железнодорожный при уклонах пути 0,03-0,09; 2 - автомобильно-конвейерный

Наименьшую энергоёмкость имеет комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт (циклично-поточная технология – ЦПТ). Однако при глубоком вводе железнодорожного транспорта достаточно низкими являются энергетические затраты и при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте.

3. Распределение объемов горных работ по глубине карьера

Для того чтобы установить рациональные области применения комбинированного транспорта и соответственно расположение перегрузочных пунктов, необходимо рассмотреть распределение объемов вскрыши и руды по глубине карьера.

Для карьера, параметры которого характерны при открытой добыче руд (рис. 3), определено изменение послойных объемов вскрыши и руды.

Объемы наносов, скальной вскрыши, руды определяли по формулам:

$$V_H = H_H (2H_k \text{ctg}\beta + m)L, \text{ м}^3 \quad (1)$$

$$V_c = L(H_k - H_H)^2 \text{ctg}\beta, \text{ м}^3 \quad (2)$$

$$V_o = H_H (2H_k \text{ctg}\beta + m)L + L(H_k - H_H)^2 \text{ctg}\beta, \text{ м}^3 \quad (3)$$

$$V_p = m(H_k - H_H)L, \text{ м}^3 \quad (4)$$

$$V_m = 0,5[(2H_k - H_H - H) \text{ctg}\beta](H - H_H)L, \text{ м}^3 \quad (5),$$

где H_k – граничная глубина карьера, м; H_H – мощность наносов, м; L – средняя длина фронта работ, м; V_H – объем наносов, м^3 ; β – угол откоса нерабочего борта карьера, град; V_p – объем руды, м^3 ; V_c – объем скальной вскрыши, м^3 ; V_o – общий объем вскрыши м^3 , H – текущая глубина карьера, м, V_m – послойные объемы вскрыши по глубине карьера, м^3 .

Изменение объемов вскрыши и руды с глубиной карьера представлено в долях единицы от общего объема (рис. 4).

При выемке вскрышных пород с глубоких горизонтов карьера рационально располагать внутрикарьерные перегрузочные пункты при автомобильно-железнодорожном транспорте на глубинах 250–300 м с использованием автосамосвалов средней грузоподъемности.

Как следует из приведенных данных, наибольшие объемы вскрыши сосредоточены на верхних и средних по глубине карьера горизонтах. Отсюда следует, что при выборе вида транспорта при добыче руды и выемке вскрышных пород в глубоком карьере необходимо исходить как из учета развития рабочей зоны карьера, так и параметров различных видов транспорта, их энергетической эффективности.

Из сравнения распределения объемов по глубине карьера, приведенных на рис. 4, а также изменения энергетических затрат при применении комбинированных видов транспорта, приведенных на рис. 2, следует, что для выемки вскрышных пород рационально применение автомобильно-железнодорожного транспорта с постепенным увеличением угла наклона железнодорожных путей. При этом с глубины карьера 200 до 250 м уклон увеличивается с 0,05 до 0,07, а с глубины 250 до 300 м – до 0,09. Следует обратить внимание на то, что если осуществляют последовательный перенос перегрузочных пунктов по глубине карьера и при этом обеспечивают минимальные расстояния автоперевозок – то это циклично-поточная технология.

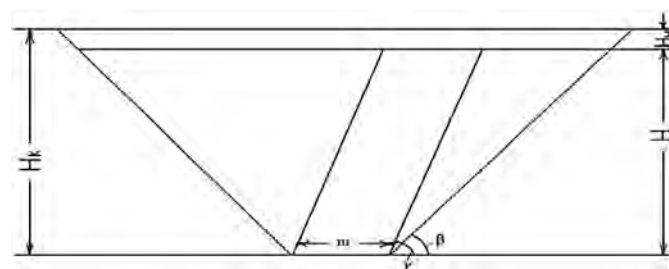


Рис. 3. Схема к определению объемов вскрыши в контурах карьера в зависимости от его параметров

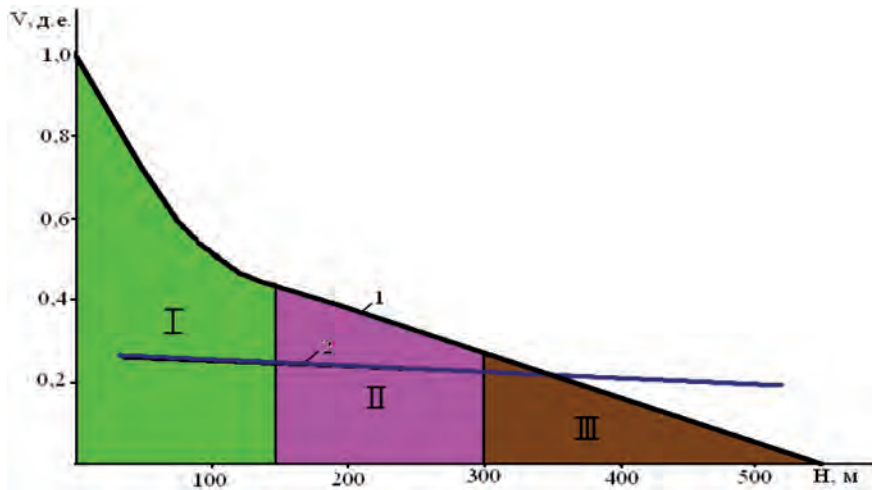


Рис. 4. Изменение объемов вскрыши (1) и руды (2) с глубиной карьера.

Зоны применения видов транспорта при выемке вскрышных пород:

I – железнодорожный; II – комбинированный автомобильно-железнодорожный; III – автомобильный

Если перегрузочные пункты не переносят – то это комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт с постоянным увеличением автоперевозок с увеличением глубины карьера.

Энергетические затраты при автомобильно-конвейерном транспорте с последовательным переносом перегрузочных пунктов наименьшие, и он может применяться при добыче руды на глубоких горизонтах карьера.

4. Параметры схем вскрытия в зависимости от расположения перегрузочных пунктов в рабочей зоне карьера

Эффективность комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта повышается при минимальном расстоянии перевозок к перегрузочным пунктам, которое зависит от следующих параметров схем вскрытия и системы разработки: высоты расположения пункта при переходе к работе по данной схеме вскрытия H_y , глубины вскрытия горизонтов, высоты рабочей зоны, скорости понижения горных работ.

При комбинированном транспорте расстояние автоперевозок состоит из двух частей. Первая определяется высотой расположения пункта при переходе к работе по данной схеме вскрытия H_y (рис. 5), например расстояние автоперевозок от рабочей зоны 3 до пункта 1 или от рабочей зоны 4 до пункта 2 (рис. 5). Вторая часть расстояния автоперевозок зависит от глубины вскрытия горизонтов, т. е. это то расстояние автоперевозок, которое изменяется непосредственно в процессе выполнения горных работ по данной схеме вскрытия. Так, при перемещении рабочей зоны из положения 3 в положение 4 расстояние автоперевозок к перегрузочному пункту 1 увеличивается в соответствии с увеличением глубины разработки.

Высота расположения перегрузочного пункта при переходе к работе по очередной схеме вскрытия существенно влияет на расстояние автоперевозок. Несмотря на то, что работы могут производиться с заданным шагом переноса перегрузочного пункта, а высота его расположения при переходе к работе по используемой и очередной схемам вскрытия будет больше установленной, разработку при данном этапе вскрытия будут осуществлять с большим средним расстоянием автоперевозок. Это видно из следующего. С использованием перегрузочного пункта 1 при высоте его расположения H_y предусматривалось отработать часть карьера, ограниченную положениями рабочих зон 3 и 4. Однако разработка велась при высоте расположения пункта при $H_y' > H_y$ (см. рис. 5) и отработана часть карьера, ограниченная положениями рабочих зон 5 и 6. Высота между рабочими зонами 3 и 4, 5

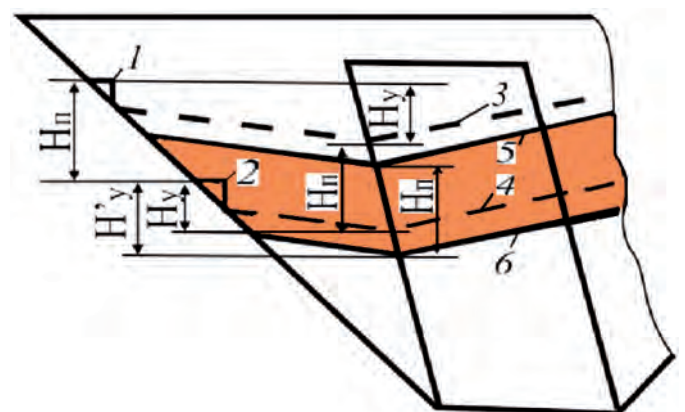


Рис. 5. Схема к обоснованию влияния высоты расположения и шага переноса перегрузочного пункта на расстояние автоперевозок:

$H_ц$ – шаг переноса перегрузочного пункта, м;
 H_y – высота расположения перегрузочного пункта, м;
 $H_{в.г.}$ – глубина вскрытия горизонтов, м

и 6 (глубина вскрытия горизонтов) равна шагу переноса перегрузочного пункта. Однако поскольку часть карьера, ограниченная рабочими зонами 5 и 6, отработана при большей высоте расположения пункта, чем предусматривалось (и большей глубине карьера), то и расстояния перевозок от нее до перегрузочного пункта 1 больше в соответствии с величиной $H_{y'} - H_y$. В дальнейшем переход к каждой очередной схеме вскрытия будет осуществляться с установленными высотой расположения и шагом переноса перегрузочного пункта, а следовательно, и постоянной глубиной вскрытия горизонтов.

Из приведенного следует: минимальные расстояния автоперевозок могут быть достигнуты при минимальной высоте расположения перегрузочного пункта относительно нижнего горизонта рабочей зоны. Этого можно достичь при применении мобильных перегрузочных пунктов, которые могут быть сооружены в короткое время.

5. Перегрузка горной массы при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте

На карьерах Кривбасса наиболее широкое распространение получили внутрикарьерные автомобильно-железнодорожные перегрузочные пункты с экскаваторной перегрузкой (рис. 6).

Применение экскаваторной перегрузки руды и вскрышных пород при автомобильно-железнодорожном транспорте имеет ряд высоких технологических преимуществ: независимая работа автомобильного и железнодорожного транспорта; высокая производительность перегрузки; возможность усреднения руды и разделения ее по сортам. В то же время они имеют и существенные недостатки: большие затраты на перегрузку; непроизводительное использование на перегрузке экскавато-

ров большой производительности. При двустороннем подъезде железнодорожного транспорта (рис. 7) длина перегрузочной площадки может быть сокращена.

Недостатками экскаваторной перегрузки на внутрикарьерных перегрузочных площадках являются большие затраты на перегрузку и консервация запасов руды под ними. На карьере № 1 ЦГОК в начальный период его эксплуатации применялась непосредственная перегрузка руды из автосамосвалов в думпкары. Однако распространения она не получила.

6. Эффективный комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт при глубоком вводе железнодорожного транспор-

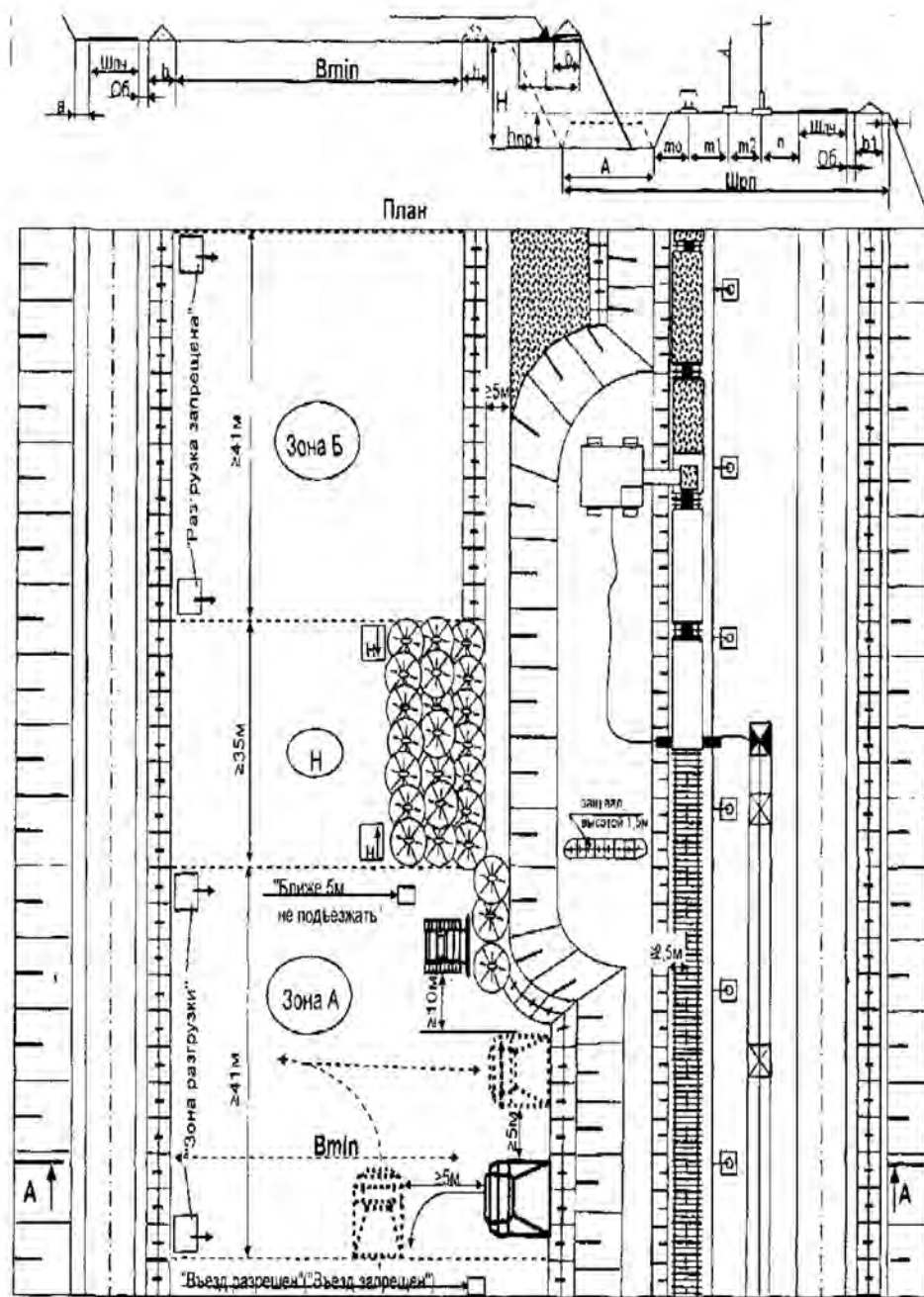


Рис. 6. Перегрузочная площадка при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте



Рис. 7. Перегрузочная площадка с двусторонним подъездом железнодорожного транспорта

та в карьер путем повышения уклонов железнодорожных путей

Основным направлением развития и совершенствования комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта является увеличение уклонов путей до 60–80 %. Это позволяет увеличить глубину ввода железнодорожного транспорта в карьеры до 300 м, снизить суммарные затраты на транспортирование горной массы. Однако при этом необходимо учитывать, что при увеличении уклонов карьерных железнодорожных путей до 60 % возрастает добавочная продольная утяжеляющая сила, которая вызывает наибольший угон железнодорожного пути. Особенно при торможении. Поэтому эффективность работы железнодорожного транспорта в большой степени зависит от состояния путей. Необходимо совершенствование конструкции верхнего строения пути с учетом условий эксплуатации, интенсивности движения, увеличения уклонов путей до 60 % и осевых нагрузок.

Важным условием эффективного применения железнодорожного транспорта с увеличенным уклоном путей является создание эффективной схемы вскрытия горизонтов. Глубокий ввод железнодорожного транспорта в карьер достигается при поэтапном повышении крутизны трасс. Горизонты последовательно вскрывают траншеями сначала с уклоном путей 30 %, потом 50 % и затем 60 %. При этом возможна консервация нерабочих бортов. В каждой траншее формируют группы станций, из которых выбирают необходимое направление. Приведенную выше схему вскрытия горизонтов с повышенными уклонами железнодорожных путей

применили на Лебединском ГОК. Глубокий ввод железнодорожного транспорта в карьер с заданным расположением перегрузочных пунктов и соответствующими параметрами схемы вскрытия позволяет достичь высокой экономичности выемки вскрышных пород и полезного ископаемого на глубоких горизонтах.

Выводы

1. При выемке вскрышных пород с глубоких горизонтов карьера рационально располагать внутрикарьерные перегрузочные пункты при автомобильно-железнодорожном транспорте на глубинах 250–300 м с использованием автосамосвалов средней грузоподъемности.

2. При добыче руды целесообразно применять циклично-поточную технологию с последовательным переносом перегрузочных пунктов через 80–90 м. При применении автомобильно-конвейерного транспорта перегрузочный пункт рационально размещать на глубине 200–250 м.

Библиографический список / References

1. Четверик М. С. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития. Дионис (ФЛ-П Чернявский Д.А.) / М. С. Четверик, В. В. Перегудов, А. В. Романенко, А. П. Левицкий, Е. Г. Удод, К. А. Федин. – Кривой Рог, 2012. – 356 с.

Chetverik, M. S., Peregudov, V. V., Romanenko, A. V., Levitskiy, A. P., Udod, Ye. G. and Fedin, K. A. (2012). *Tsiklichno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh karerakh* [Cyclical-and-continuous method within deep open-pits]. Future development. Krivoi Rog, pp. 356.

2. Мельников Н. Н. Перспективы решения научных проблем при отработке мощных глубоких карьеров / Н. Н. Мельников, С. П. Решетняк // Горное дело: ИГД СО РАН. – Якутск, 1994. – С. 14–23.

Melnikov, N. N. and Reshetniak, S.P. (1994). *Perspektivy resheniya nauchnykh rabot pri otrabotke moshchnykh glubokikh karerov* [Future solutions for scientific problems in terms of deep thick open-pit mining]. Mining: IGD SO RAN. Yakutsk, pp. 14-23.

3. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П. Л. Мариев, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.

Mariev, P. L., Kuleshov, A. A., Yegorov, A. N. and Zyrianov, I. V. (2004). *Karernyy avtotransporta: sostoyaniye s perspektivoy* [Open-pit motor transport: condition and prospects]. SPb, Nauka, 429 p.

4. Тарасов П. И. Предпосылки создания новых углубочных комплексов / П. И. Тарасов // Научно-техническое обеспечение горного производства: сб. науч. тр. / ИГД им. Кунаева, Казахстан. – Алматы, 2004. – Т. 68. – С. 190–195.

Tarasov, P. I. (2004). *Predposelki sozhdaniya novykh uglubochnykh kompleksov* [Prerequisites of the development of innovative sinking facilities] Scientific and technical support for mining practice: collection of scientific papers Kunaev Institute of Mining Engineering. Almaty, Kazakhstan, vol. 68, pp. 190-195.

5. Яковлев В. Л. Основные направления энергосбережения на карьерном железнодорожном транспорте / В. Л. Яковлев, О. В. Витязев // Горн. журн. – 2004. – № 10. – С. 66–68.

Yakovlev, V. L. and Vitiazev, O. V. (2004). *Osnovnyye napravleniya energosberezheniya na karernom zheleznodorozhnom transporte* [Basic tendencies for energy saving in terms of open-pit railroad transport]. Mining magazine, no. 10, pp. 66-68.

6. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука, 1989. – 240 с.

Yakovlev, V. L. (1989). *Teoriya i praktika vybora transporta glubokikh karerov* [Theory and practice of selecting transport for deep open-pits]. Novosibirsk, Nauka, 240 p.

7. Дриженко А. Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: монография / А. Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.

Drizhenko, A. Yu. (2011). *Karernye tekhnologicheskie gornotrasportnyye sistemy* [Open-pit technological mining and transportation systems: monograph]. Dnepropetrovsk, NMU, 542 p.

Purpose of the paper is to determine rational areas to locate load/unload stations within the operating zone of deep open-pits in terms of combined modes of transport.

Findings. Energy estimation of the application of combined modes of transport in terms of deep open-pits as well as distribution of the volumes of overburden rock and useful mineral within the open-pit depth and parameters of opening schemes have been used to determine rational areas to locate load/unload stations within the operating zone of deep open-pits. It has been found that minimum road haulage distances can be determined in terms of minimum height of load/unload station location relative to lower levels of the operating zone. It can be obtained by using mobile load/unload stations being built in a short period of time.

Originality. Rational areas to apply combined modes of transport have been specified on the basis of the determined dependences of the volumes distribution within the open-pit depth. Dependence of the opening scheme parameters upon load/unload station location within the open-pit operating zone has been determined.

Practical value. Rational areas to locate load/unload stations within the operating zone of deep open-pit in terms of combined modes of transport have been determined.

Key words: deep open-pits, combined transport, load/unload stations, opening scheme.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком**

Поступила 01.12.2017

