

УДК 622.063.88

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

К.М. Басс¹, В.В. Кривда²

¹кандидат технических наук, профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: BassKM@yandex.ru

²кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: vitaliy.krivda@yandex.ru

Аннотация. В работе приводится анализ добычи полезных ископаемых в мире, удельный вес открытой разработки достигаемый с тенденцией перехода к открытому способу, как к основному, где современный этап развития открытого способа добычи полезных ископаемых характеризуется значительным увеличением глубин разработки.

Ключевые слова: карьер, автосамосвал, открытая разработка, железная руда.

ANALYSIS OF RESEARCH ON THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF DEVELOPMENT SYSTEMS OF DEEP HORIZONS OF QUARRIES WHEN APPLYING AUTOMOBILE TRANSPORT

K.M. Bass¹, V.V. Krivda²

¹Ph.D. (Tech.), Professor of the Department of Automobiles and Automotive Economy, National Mining University, Dnipro, Ukraine, e-mail: BassKM@yandex.ru

²Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automotive Economy, National Mining University, Dnipro, Ukraine, e-mail: vitaliy.krivda@yandex.ru

Annotation. The paper analyzes the world's mining, the share of open development achieved with the trend towards an open method, as the main one, where the current stage of development of an open mining method is characterized by a significant increase in development depths.

Keywords: quarry, dump, open pit, iron ore.

Введение. За последние 15 лет глубина рудных карьеров увеличилась на 100 – 150 м и составляет в настоящее время в среднем 270 – 380 м, а в ближайшей перспективе достигнет 400 – 550 м. С увеличением темпов развития горнодобывающей отрасли и необходимости обеспечения постоянной производительности по сырой руде в обозримом будущем, глубины карьеров достигнут отметки 600 – 1000 м. Особенно это характерно для карьеров, отрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения.

Основная часть балансовых запасов железных руд Украины сосредоточена в Кривбассе, где 75 % добычи руд осуществляется открытым способом четырьмя горно-обогатительными комбинатами (Южный, Северный, Центральный, Ингулецкий) и горно-обогатительным комплексом "Арселор Миттал Кривой Рог". Показатели работы железорудных ГОКов Кривбасса и Полтавского ГОКа Кременчугского месторождения приведены в таблице 1.

В связи с интенсивным понижением горных работ глубина карьеров (табл. 1) достигла 300 – 350 м и такую же высоту во многих случаях составляет рабочая зона, что говорит о подвигании практически всех уступов рабочего борта. Одновременно, в рабочей зоне карьера применяют несколько технологий: цикличную и циклично-поточную (ЦПТ), которые включают такие виды транспорта, как автомобильный, железнодорожный, автомобильно-железнодорожный, автомобильно-конвейерный. Этот комплекс технологий и видов транспорта представляет сложную геотехнологическую систему. При этом для каждой из технологий, которые составляют систему, необходима разработка рациональных схем вскрытия горизонтов с соответствующими параметрами.

Таблица 1 – Производственные и технические показатели работы железорудных ГОКов Кривбасса

Наименование показателя	Наименование ГОКа (карьеров)					
	Северный (Анновский / Первомайский)	Центральный (№1; / №3; / №4)	Южный	Ингулецкий	Полтавский	"Арселор Миттал Кривой Рог" (№2; / №3)
1	2	3	4	5	6	7
Добыча сырой руды, т/год	25,0	10,0	22,0	34,7	22,0	22,5
Объем вскрышных пород, млн. м ³ /год	17,14	11,68	6,46	13,57	9,41	7,73
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	0,69	1,17	0,29	0,39	0,43	0,34
Глубина карьера (ов)	260 / 565	300	370	415	320	135 / 235

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6	7
Размеры карьера (ов) по поверхности, м	5000 x 1200/ 3000 x 2400	1000 x 2700	2500 x 3000	3600 x 2500	1500 x 3800	3000 x 2200
Размеры карьера (ов) по дну, м	1780 x 360/ 1140 x 660	2000 x 250	720 x 500	1000 x 240	1400 x 500	2500 x 250
Применяемый вид транспорта по руде	авто-конв. / авто-ж/д	авто-конв. / авто-ж/д / авто	авто- конв.	авто- конв.	авто	авто- конв. / авто- конв.
Применяемый вид транспорта по вскрыше	авто-ж/д / авто-ж/д	авто-ж/д/ авто-ж/д/ авто	ж/д, авто- конв.	авто-ж/д	авто	авто-ж/д / авто-ж/д

Цель работы. Анализ исследований развития горных работ в глубоких карьерах при применении автомобильного и комбинированного транспорта.

Материал и результаты исследований. Поскольку отработка крутопадающих залежей ведётся по углубочным системам разработки, то дальнейшее развитие открытого способа разработки таких месторождений связано с сокращением активной рабочей зоны, интенсивным понижением горных работ в рудной зоне, сокращением вскрытых запасов, уменьшением ширины рабочих площадок, увеличением количества обслуживаемых забоев, усложнением условий транспортного обеспечения рабочих уступов, увеличением расстояния транспортирования горной массы, снижением производительности горнотранспортного комплекса по выемке вскрышных пород. Анализ параметров показал, что рациональное использование внутрикарьерного пространства, увеличение рабочей зоны и уменьшение целиков возможно при применении автотранспорта усовершенствованной конструкции за счёт рациональных параметров автодорог (ширина рабочих площадок, радиус закругления криволинейных участков, параметры петлевых съездов).

На современных отечественных и зарубежных карьерах ведущая роль принадлежит мощному высокопроизводительному горнотранспортному оборудованию. За последние 10 – 15 лет произошёл переход к использованию экскаваторов с вместимостью ковша 5 – 8 м³ на машины с ковшом 12 – 20 м³, а грузоподъёмность применяемых автосамосвалов за этот же

период увеличилась на 15 – 20 %. Кроме того, создаются ещё более мощные высокопроизводительные машины, которые найдут своё применение в ближайшем будущем в карьерах Кривбасса. Соответственно расширению возможностей оборудования изменяются параметры систем разработки (высоты вскрышных уступов, ширина берм, параметры транспортных коммуникаций и т.д.).

При современных технологиях ведения горных работ на глубоких карьерах транспортные расходы составляют более 60 – 70% от общих затрат на добычу горной массы. Практически на всех карьерах Кривбасса (см. табл. 1) для транспортировки руды применяется автомобильно-конвейерный транспорт, за исключением карьеров №3 и №4 ЦГОКа и карьера ПГОКа, а для транспортировки пород вскрыши – автомобильно-железнодорожный транспорт.

При интенсивном понижении горных работ, которое происходит при применении циклично-поточной технологии, появляется значительное отставание по отработке скальных пород вскрыши в средней части рабочей зоны (циклическая технология). Возможная производительность карьера A_p , согласно норм технологического проектирования [1], может быть определена по формуле:

$$A_p = h_z \cdot S_p \cdot \rho \cdot \frac{1-r}{1-v} \quad , \tau \quad (1)$$

где h_z – скорость понижения добычных работ, м/год;

S_p – площадь рудного тела, в пределах которой осуществляется понижение горных работ, м²;

ρ – плотность руды в недрах, т/м³;

r – эксплуатационные потери руды, доли единицы;

v – коэффициент весового разубоживания.

В последние годы отмечается существенное повышение темпов добычи с углубкой карьера, что в дальнейшем приведёт к ещё большему отставанию вскрышных работ и, как следствие, к консервации запасов руд, добычу которых осуществлять будет экономически нецелесообразно.

Следует отметить снижение производительности транспортного комплекса при понижении горных работ ниже проектной глубины на каждые 100 м понижения снижается производительность автосамосвалов на 25 – 39 %, локомотивосоставов – 8,5 – 20 % [2]. Таким образом, при понижении горных работ одной из важных проблем является транспортное обеспечение.

Задачи определения параметров карьера решаются в первую очередь проектными организациями на предпроектной стадии разработки месторождения, а также непосредственно горнодобывающими предприятиями

для поддержания минерально-сырьевой базы за счет эксплуатации месторождений с ограниченными запасами. В этом случае параметры горных работ и систем разработки определяются нормами технологического проектирования [1, 3] и правилами безопасности [4 – 5] при ведении горных работ открытым способом.

Практика открытой разработки крутопадающих месторождений показывает, что с понижением дна карьера резко увеличивается объем выемки пород вскрыши. Уменьшить его абсолютную величину можно, увеличив граничные углы откоса бортов карьера. Текущие объемы выемки вскрыши при неизменных объемах добычи руды изменяются в зависимости от угла откоса рабочих бортов карьера [5 – 6]. Технологически увеличение углов откосов как нерабочих, так и рабочих бортов достигается при поэтапной разработке месторождений крутонаклонными слоями – этапами с концентрацией горных работ на одном из бортов или части уступов. При этом высота рабочей зоны карьера и темп углубки горных работ систематически увеличиваются [7]. В перечисленных работах не рассматривается взаимосвязь между подготовленными к выемке запасами и параметрами горнотранспортного оборудования.

Известно, что производственная мощность зависит от параметров рабочей зоны: глубины карьера, высоты его рабочей зоны, темпа (скорости) понижения горных работ и производительности горнотранспортного комплекса.

С развитием горных работ в глубину изменяются расстояние транспортирования горной массы, объемы и направление грузопотоков, конструкция погрузочно-транспортного оборудования и средства механизации вспомогательных процессов. В соответствии с этим изменяется эффективность применения каждого способа транспортирования.

Так, для управления производственной мощностью глубокого карьера необходимо учитывать параметры формирования его рабочей зоны. Автор работ [7] считает, что все параметры зависят от принятого в карьере режима ведения горных работ.

В работе [9] А.А. Рыкус исследовал условия работы автосамосвалов в глубоких железорудных карьерах. Привел рекомендации по техническому, технологическому и организационному обеспечению для повышения эффективности их эксплуатации. Для карьера Полтавского ГОКа при разработке глубоких горизонтов рекомендуется эксплуатировать автосамосвалы грузоподъемностью 91 т, поскольку ширина их кузова меньше на 1 – 2 м, то необходимая ширина дороги также будет меньше, следовательно, можно достичь большего значения угла откоса рабочего борта. Для поддержания заданного режима ведения горных работ при увеличении объемов

вскрыши необходимо увеличивать производительность применяемого технологического комплекса по выемке пород вскрыши. В работах [11] А.С. Пригунов на основе теоретических и экспериментальных исследований показал, что основным направлением развития открытой разработки полезных ископаемых является поточная технология разработки взорванных скальных пород комплексами непрерывного действия, что позволило бы существенно увеличить производственную мощность глубоких карьеров. Однако в его работах не рассматривается вопрос практической реализации ввода конвейерного транспорта на большие глубины, а применение автотранспорта в комплексе непрерывного действия невозможно.

Авторы работ [10] рекомендуют увеличить углы откоса рабочих бортов до предельно возможного значения, вплоть до уровня граничных по условиям устойчивости. В работе предлагается реализовать это техническое решение путем увеличения высоты уступов по породам вскрыши. Изменение высоты уступа способствует увеличению угла наклона борта карьера, который также зависит и от ширины рабочей площадки. Однако, авторами указанных работ не рассматривается изменение параметров отработки глубоких горизонтов карьера при изменении технологических параметров горно-транспортного оборудования.

В работах [1- 4] авторы исследовали технологические схемы отработки крутых слоев при поэтапной разработке крутонаклонных месторождений, обобщили результаты исследований и опыт проектирования технологических схем, которые обеспечивают необходимую интенсификацию их производства и достижение заданной производственной мощности карьера по руде. Получена функциональная зависимость влияния формы трассы и параметров вскрывающих выработок на объем горной массы в контурах карьера. Установлено, что при глубинах карьера 300 – 500 м и радиусах дна 100 – 200 м реальный объем горных работ по проведению спиральной трассы в процессе реконструкции карьера в 1,5 – 2 раза превышает объем работ, рассчитанный по общепринятым формулам [1, 4], что необходимо учитывать при проектировании схемы транспортных коммуникаций. Однако в этих работах не установлено изменение параметров систем разработки карьера при различных видах транспорта и при изменении эксплуатационно-технических параметров отдельного вида применяемого транспорта.

Сложность современных транспортных схем и многообразие условий их применения обусловили теоретические исследования по изучению закономерностей выбора типа и структуры карьерного транспорта [9]. В последние десятилетия прошлого века многими авторами были изучены различные горнотехнические, горно-геологические, организационные и другие

факторы, оказывающие влияние на эффективность карьерного транспорта. Эти факторы, а также структурные изменения транспорта, стали основными признаками систематизации транспортных комплексов при их большом многообразии и сложности. Как отмечает академик Н.В. Мельников [12], основной признак технологической схемы транспорта- направление грузопотоков и взаиморасположение транспортных коммуникаций, связывающих пункты погрузки горной массы с пунктами назначения ее транспортировки. Однако такой подход не отражает изменений структуры транспортного комплекса в технологической схеме. Как правило, перемещение транспортных коммуникаций и перегрузочных пунктов не вызывают изменений в параметрах систем разработки.

Основными параметрами транспортного комплекса является высота подъема, расстояние транспортирования [7], шаг переноса перегрузочных пунктов [12-13], количество одновременно работающих перегрузочных пунктов, расположение перегрузочного пункта в группе уступов, уклон автодорог и т.д.

Среднее расстояние транспортировки, как правило, определяется по средней высоте подъёма, коэффициенту развития трассы и ее руководящему уклону. В некоторых расчётах учитывают и высоту рабочей зоны. Однако высокая эффективность автомобильно - конвейерного комплекса не всегда достигается при минимальных расстояниях перевозки [7]. Совершенно очевидно, что этот параметр не полностью характеризует транспортную систему, поэтому целесообразно учитывать также высоту подъема, которая в результате интенсивного понижения горных работ непрерывно увеличивается.

Известно, что по мере воздействия на эксплуатационные показатели автосамосвалов и их техническое состояние, можно управлять высотой подъёма горной массы, которая зависит также от принятой системы разработки, глубины карьера, состояния горных работ и положения перегрузочного пункта на определённый период эксплуатации. При этом высота подъёма горной массы определяет положение перегрузочного пункта по отношению к нижнему горизонту рабочей зоны [7].

Расстояние перевозок автотранспортом меняется от минимального в начале работы перегрузочного пункта, до максимального, когда доставка руды с нижележащих уступов может увеличиваться по вертикали до 100 – 120 м. До высоты подъёма 120 м отношение различных исследователей было неоднозначным. В начале 1960-х годов было принято считать, что рациональная высота подъёма автотранспортом зависит от производительности карьера. В 1980-х годах сложилось мнение, что главным условием эффективного применения автомобильного транспорта в комбинированных

схемах, является такое расположение и своевременный перенос перегрузочных пунктов, при которых высота подъема ограничена 60-80 м, а в исключительных случаях может достигать 100 м.

Автор работы [8] определил области рационального применения различных видов транспорта рис.1 в зависимости от производительности карьера A .

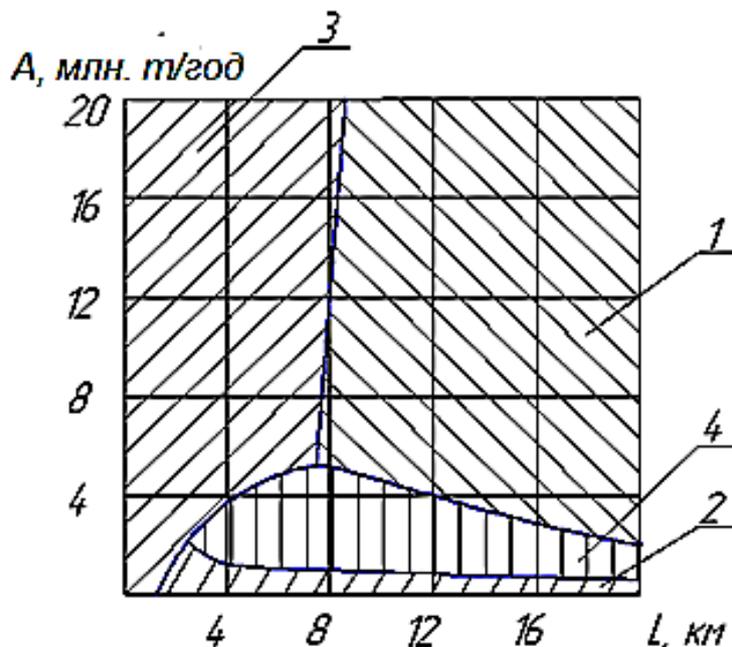


Рисунок 1 – Область применения различных видов транспорта в зависимости от производительности карьера A и расстояния транспортирования L : 1 – железнодорожный транспорт; 2 – автотранспорт; 3 – конвейерный транспорт; 4 – канатные линии

Из рис.1 следует, что при небольшой производительности карьера применение автотранспорта рационально при больших расстояниях. При достаточно большой производительности карьера конвейерный транспорт оказывается выгодный даже при малых расстояниях перевозок.

Выводы. Проведенный анализ свидетельствует о том, что автомобильный транспорт является единственно возможным средством транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьера. Также в ранее выполненных исследованиях отмечается, что параметры автотранспорта и его эксплуатационно-технические характеристики влияют на параметры систем разработки глубоких горизонтов карьеров. Однако, в проанализированных работах не установлена явная взаимосвязь между эксплуатационно-техническими характеристиками карьерного автотранспорта и параметрами систем разработки, а из рекомендаций следует, что для обеспечения эффективности выемки полезного ископаемого на глубоких горизонтах рациональным является применение автосамосвалов грузоподъемностью до 100

т. При этом в современных карьерах применяются автосамосвалы большей грузоподъемности из соображения сокращения эксплуатационных расходов.

Таким образом, с глубоких горизонтов карьера, когда производительность карьера снижается, повышается угол транспортирования горной массы, уменьшается размер рабочей зоны – рациональнее использовать именно автомобильный транспорт.

Современный подход к добыче полезных ископаемых из глубоких карьеров недостаточно обеспечен исследованиями и предложениями по обоснованию рациональных параметров систем разработки в условиях внедрения новых конструкций автосамосвалов.

Следовательно, глубины карьеров Кривбасса достигли величины, при которой необходимо принимать технические решения о дальнейших направлениях добычи железных руд, обеспечивая экономичность, экологичность и необходимую производительность. Это необходимо потому, что технические решения могут разрабатываться продолжительный период, за который горные работы достигнут граничной глубины карьеров, при которой принимать технические решения будет уже поздно. Поэтому возникает необходимость в обосновании параметров систем разработки глубоких карьеров с учётом поддержания производительности, обеспечения своевременной подготовки (вскрытии) запасов и применения высокопроизводительного современного горнотранспортного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. СОУ - Н МПП 73.020 - 078 - 2: 2008 Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. ЧАСТЬ II. Т.1 Открытые горные работы. - Киев, Министерство промышленной политики Украины, 2008. - 714 с.

2. Палазян С. Системы управления горнотранспортным комплексом // Промышленные страницы Сибири. Добывающая промышленность. - 2014. - Вып. 3. - С. 26 - 28.

3. СОУ - Н МПП 73.020 - 078 - 1: 2007 Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть I. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. Технико-экономическая оценка и показатели. - Киев, Министерство промышленной политики Украины, 2007.

4. НПАОП 0.00 - 1.33 - 94 Правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

5. НПАОП 0.00 - 1.32 - 97 Правила безопасности при проектировании и эксплуатации объектов циклично-поточной технологии открытых горных работ.

6. Арсентьев А.И. Законы формирования рабочей зоны карьера: Учебное пособие / А.И. Арсентьев. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1986. – 54 с.

7. Дриженко А.Ю. Управление параметрами рабочей зоны железорудных карьеров при понижении горных работ / А.Ю. Дриженко, А.А. Рыкус: Зб. наук. праць НГУ. – Дніпропетровськ:РВК НГУ, 2006. - № 25. – С. 81-87.
8. Смилянов А.А. Сфера рационального применения различных видов транспорта на открытых горных работах / А.А. Смилянов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1997.–№6. – с.129–132.
9. Рыкус А.А. Оптимизация модели автосамосвала для работы в Глубинное зоне железорудных карьеров / А.А. Рыкус // Материалы международной конференции «Форум горняков-2005». - Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. - Т.4 (П-Я). - С. 43-49.
10. Новожилов М.Г. Горногеометрический анализ и режим горных работ карьеров / М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, М.С. Четверик. – Киев: Наук. думка, 1971. – 144 с.
11. Пригунов А.С. Поточная технология – основное направление развития открытой разработки взорванных скальных пород / А.С. Пригунов // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ИГТМ, 1998. - № 5. – С. 69-76.
12. Мельников Н.В. Открытая разработка месторождений, избранные труды / Н.В. Мельников. – М.: Наука, 1985. – 279 с.
13. Четверик М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте / М.С. Четверик. – Киев: Наук. думка, 1986. – 188 с.

УДК 622.525.28

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНОГО ДИЗЕЛЕВОЗА З ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ ПРИ КІНЕМАТИЧНОМУ ВІД'ЄДНАННІ ДВИГУНА ВІД КОЛІС

І.Ю. Клименко

асистент кафедри управління на транспорті, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпро, Україна, e-mail: iryndaklymenko@mail.ru

Анотація. У роботі розглянуто процес гальмування шахтного дизелевозу з гідрооб'ємно-механічною трансмісією, що працює за схемою «диференціал на вході». Виявлення та систематизація основних закономірностей розподілу потоків потужності в замкнутому контурі гідрооб'ємно-механічної трансмісії в процесі гальмування виконано з використанням розробленої в MatLab/Simulink програмної реалізації.

Ключові слова: шахтний дизелевоз, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, процес гальмування, силові, кінематичні та енергетичні параметри.