© В.И. Ческидов, Е.И. Васильев, 2005

УДК 622.73

В.И. Ческидов, Е.И. Васильев

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ПОЛОГОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар №12

По данным исследований открытый способ угледобычи будет развиваться и в перспективе опережающими темпами, и к 2020 г. его уровень может быть доведен до 75 % от общероссийской добычи. Основное сдерживающее влияние на развитие отросли в ближайшие годы будет оказывать износ основного технологического оборудования, которое до 2007–2010 гг. потребует полной замены [1].

Снижение требуемых объемов инвестиций при решении поставленной задачи возможно только на базе внедрения новых и совершенствования существующих технологий ведения горных работ. Как показывают исследования большинства институтов, и опыт работы разрезов резервы такие имеются.

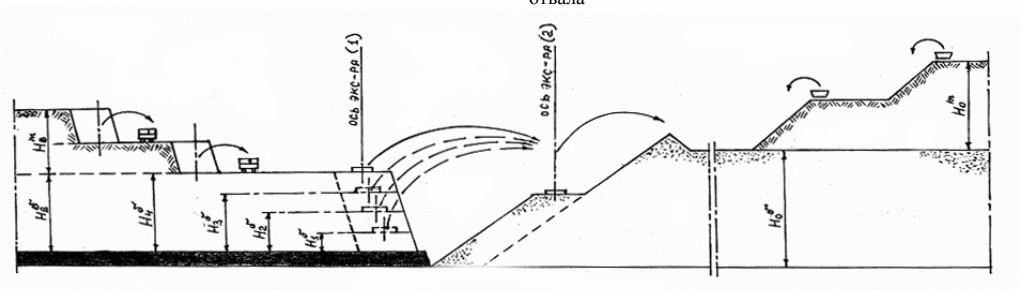
В качестве примера рассмотрим возможности совершенствования наиболее экономичной бестранспортной технологии разработки горизонтальных и пологопадающих месторождений, на долю которой приходится примерно одна треть от общего объема вскрышных работ.

На большинстве действующих разрезов, в зависимости от мощности вскрыши, бестранспортная система разработки чаще используется в комбинации с транспортной: с перевалкой отрабатывается нижняя часть по-крывающих пород, определяемая параметрами экскаваторов-драглайнов и стоимостью вскрышных работ, а оставшаяся (верхняя часть) вывозится транспортными средствами на внутренние и внешние отвалы (рисунок).

При использовании указанной системы возникает задача определения эффективной области применения схем с перевалкой вскрыши и использования транспортных средств, другими словами деления отрабатываемой мощности вскрыши по высоте на две зоны: бестранспортную и транспортную. Граница областей применения сравниваемых схем при использовании наиболее распространенной методологии определяется на основе равенства стоимостных показателей перемещения вскрыши от забоя до отвала. Достигается это равенство за счет мощности вскрыши, отрабатываемой драглайнами с соответствующим повышением коэффициента переэкскавации.

Себестоимость 1 м^3 вскрыши $С_б$, перемещаемой в выработанное пространство экскаваторами-драглайнами, определяется из вы-

Схема отработки горизонтального пласта с использованием комбинированной системы разработки: $H_1^б$, $H_2^б$, $H_3^б$, $H_4^б$, $H_в^б$ – мощность вскрыши слоев отрабатываемых с перевалкой; $H_в^т$ – мощность вскрыши отрабатываемая транспортными средствами; $H_0^б$, $H_0^т$ – соответственно высота бестранспортного и транспортного отвала



ражения:

$$C_б = C_б^б + C_ц + n*C_п, \text{ руб/м}^3, \quad (1)$$

где $C_б^б$ – затраты на буровзрывные работы при использовании перевалки вскрыши, руб/м^3; $C_ц$ – стоимость первичной экскавации1 м^3 разрыхленной вскрыши, руб/м^3; $C_п$ – стоимость однократной переэкскавации 1 м^3 вскры-ши, руб/м^3; n – число переэкскаваций 1 м^3 вскрыши.

Аналогично определяется и себестоимость 1 м^3 вскрыши C_m , перемещаемой в отвал (внутренний или внешний) с помощью транспортных средств:

$$C_m = C_m^б + C_{пг} + C_{mp} + C_o, \text{ руб/м}^3, \quad (2)$$

где $C_m^б$ – затраты на буровзрывные работы при использовании средств транспорта, руб/м^3; $C_{пг}$ – затраты на погрузку 1 м^3 вскрыши в средства транспорта, руб/м^3; C_{mp} – затраты на транспортирование 1 м^3 вскрыши от забоя до отвала, руб/м^3; C_o – затраты на отвалообразование 1 м^3 вскрыши, руб/м^3.

Из выражений (1) и (2) следует, что при принятой методике границей перехода от бестранспортной схемы к транспортной должен явиться такой горизонт, на котором затраты C_m и $C_б$ будут равны, а значение предельного коэффициента переэкскавации составит:

$$n_{пр} = (C_m - C_б^б - C_ц)/C_п, \quad (3)$$

Однако, если проанализировать полученное на основе выражения (3) значение мощности вскрыши, отрабатываемой по бестранспортной схеме, то можно видеть, что эта мощность является завышенной и не отвечает условиям обеспечения минимума затрат при использовании бестранспортной и транспортной схем, так как здесь не используется преимущество непосредственной перевалки вскрыши, при которой затраты на вскрышные работы, как правило, ниже, чем при транспортной составляющей.

Чтобы найти границу между зонами вскрышных пород, отрабатываемых схемами с перевалкой вскрыши и использованием транспортных средств, при которых в совокупности обеспечивался бы минимум затрат, необходимо при ее определении исключить из бестранспортной зоны ту ее часть, отработка которой, с учетом переэкскавации, пре-восходит по стоимости транспортную вскры-шу. Достигается это делением намеченной к отработке с перевалкой мощности вскрыши $H_в^б$ на слои ($H_1^б$, $H_2^б$, ... $H_к^б$), и определением, нарастающим итогом коэффициентов переэкскавации для каждого слоя. При таком подходе границу между зонами необходимо устанавливать не по среднему ($n_{ср}$) для всей мощности $H_в^б$, намечаемой к отработке с перевалкой вскрыши, а по предлагаемому нами слоевому n_c коэффициенту переэкскавации.

Значение коэффициента переэкскавации для каждого слоя мощности вскрыши, отрабатываемой с использованием схем с перевалкой, может быть найдено следующим образом. Пусть для первого слоя вскрыши мощ-ностью $H_1^б$ коэффициент переэкскавации, найденный графически или по имеющимся формулам [2, 3], равняется $n_{ср}^I$, а для двух смежных слоев мощностью $H_2^б = H_1^б + \Delta H$, средний коэффициент переэкскавации равняется $n_{ср}^{II}$. Тогда общий объем переэкскавируемой вскрыши V_n^I при отработке первого слоя высотой $H_1^б$ составит (м^3/ пог.м.)[1]

$$V_n^I = H_1^б * A^* n_{ср}^I. \quad (4)$$

А при отработке следующего слоя:

$$V_n^{II} = H_2^б * A^* n_{ср}^{II}, \quad (5)$$

где А – ширина заходки.

Приращение общего объема переэкскавируемой вскрыши с увеличением мощности слоя на величину ΔH определяется как разность:

$$\Delta V_п = V_n^{II} - V_n^I = A^*(H_2^б * n_{ср}^{II} - H_1^б * n_{ср}^I). \quad (6)$$

Если теперь объем переэкскавируемой вскрыши $\Delta V_п$ разделить на объем приращения мощности отрабатываемого слоя в целике $\Delta V_ц = A*(H_2^б - H_1^б)$, то получим значение коэффициента переэкскавации относящегося к слою приращения вскрыши $V_ц$, названного нами слоевым n_c:

$$n_c^I = (H_2^б * n_{ср}^{II} - H_1^б * n_{ср}^I)/(H_2^б - H_1^б). \quad (7)$$

Исходя из принятого нами условия обеспечения минимума затрат при комбинированной системе разработки вскрышных пород, чтобы

[1]Объем перемещения вскрышных пород в выработанное пространство взрывом не учитывается.

Зависимость коэффициента переэкскавации от мощности отрабатываемой вскрыши драглайнами типа ЭШ–15/90, ЭШ–40/85 и ЭШ–80/100[*]

Глубина отработки пластов угля	Средний коэффициент переэкскавации			Мощность и глубина выемки отрабатываемого слоя вскрыши, м	Слоевый коэффициент переэкскавации		
	Мощность пласта, м				Мощность пласта, м		
м	3	8	14		3	8	14
40	0,491	–	–	–	–	–	–
50	0,655	0,2	–	10 (40–50)	1,32	–	–
60	0,873	0,63	0,33	10 (50–60)	1,96	2,78	–
70	1,145	0,96	0,74	10 (60–70)	2,78	2,94	3,20
80	1,471	1,29	1,07	10 (70–80)	3,74	3,6	3,38
90		1,60	1,37	10 (80–90)		4,08	3,82

* Угол падения пласта 15°

найти границу перехода от бестранспортной схемы к транспортной, необходимо определить значение предельного и слоевого коэффициентов переэкскавации. Границей будет та часть слоя вскрышных пород, где эти коэффициенты равны.

Решить сформулированную задачу с достаточной степенью точности, при отличии сравниваемых технологических схем типом используемого оборудования и схемами организации работ, можно только путем определения их эффективности, используя для этой цели утвержденные методики, позволяющие определить следующие основные критерии: чистый дисконтированный доход, рентабельность капитальных вложений, внутреннюю ставку прибыли и срок окупаемости [4, 5].

Однако, учитывая громоздкость определения перечисленных выше критериев и идентичность горно-геологических условий сравниваемых технологических схем, мы посчитали возможным упростить данную задачу, для чего рассмотрели условный пример комбинированной системы разработки пологопадающих месторождений с использованием экскаваторов типа ЭШ 15/90, ЭШ 40/85, ЭШ 80/100, усредненные коэффициенты переэкскавации для которых приведены в таблице.

В качестве стоимостных показателей были использованы фактические данные угольных разрезов Кузбасса. Себестоимость переэкскавации и первичной экскавации бестранспортной вскрыши условно принята в размере $C_п$ = 10 руб. м^3 и $C_б^б + C_ц$ = 15 руб. м^3, а транспортируемой автосамосвалами C_m = 30 руб. м^3. В соответствии с формулой 3 в данном случае значение среднего коэффициента переэкскавации будет равняться $n_{ср}^{пр}$ = 1,5; а мощность бестранспортной вскрыши согласно таблице составит 80 м ($n_{ср\,1}^{пр}$ = 1,471), а по слоевому коэффициенту при предельном значении $n_{ср}^{пр}$ = 1,32 будет равняться 50 м. При этом предельное значение среднего коэффициента переэкскавации будет $n_{ср\,2}^{пр}$ = 0,655.

Сравним оба способа отработки, приняв ширину заходки 30 м.

Для первого случая при определении мощности бестранспортной вскрыши по среднему коэффициенту переэкскавации, затраты на 1 пог. м. заходки составят:

$$C_{ср} = H_в^{ср} * A * n_{ср\,1}^{пр} * C_п + H_в^{ср} * A * (C_б^б + C_ц) =$$

$$= 80 * 30 * 1{,}471 * 10 + 80 * 30 * 15 =$$

= 71 304 руб/ пог. м

Во втором случае при использовании слоевого коэффициента затраты составят:

$$C_с = H_в^с * A * n_{ср\,2}^{пр} * C_п + H_в^с * A * (C_б^б + C_ц) +$$

$$+ H_в^{тр} * A * C_m = 50*30*0{,}655*10 + 50*30*15 + +$$

30*30*30 = 59 325 руб/ пог. м

где $H_в^{ср}$, $H_в^с$ – соответственно мощность бестранспортной вскрыши, определяемая по среднему и слоевому коэффициенту переэкскавации, м; А – ширина заходки, м; $n_{ср\,1}^{пр}$, $n_{ср\,2}^{пр}$ – соответственно значения предельных коэффициентов переэкскавации при определении мощности бестранспортной вскрыши с использованием среднего и слоевого коэффициентов переэкскавации; $H_в^{тр}$ – мощ-ность транспортной вскрыши, м.

Из примера следует, что при взятых за основу стоимостных показателях затраты на 1 пог. м заходки (2400 м^3) во втором случае на 11 979 руб. меньше, что при отработке 1 км фронта горных работ обеспечит экономию примерно 30,0 млн руб. Полученые результаты позволяют утверждать, что использование слоевого коэффициента переэкскавации для определения мощности бестранспортной вскрыши при комбинированной отработке горизонтальных и пологопадающих пластовых месторождений может обеспечить повышение экономичности их разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рубан А.Д.* Направления совершенствования технологической базы угольной промышленности. Уголь. – № 2. – 2001.

2. *Ржевский В.В.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – М.: Недра, 1968.

3. *Ческидов В.И., Печенихин С.П., Росова Т.И.* Аналитический способ определения коэффициента переэкскавации при бестранспортной отработке пологих пластов. – Кемерово, Межвузовский сборник «Разработка угольных месторождений открытым способом». – № 6. – 1977.

4. *Методические* рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Официальное издание. – М.: 1994

5. *Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В.* Проектирование карьеров. – М.: Издательство Академии горных наук. – 2001. – т.1 и 2.

Коротко об авторах

Ческидов Владимир Иванович – кандидат технических наук, зав. лабораторией «Открытая геотехнология»,
Васильев Евгений Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела СО РАН.

© О.Б. Кортелев, С.Г. Молотилов, В.К. Норри, 2005

УДК 622.271.5

О.Б. Кортелев, С.Г. Молотилов, В.К. Норри

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ

Семинар №12

Развитие открытого способа разработки угольных месторождений сопровождается ростом глубины карьеров, что вызывает увеличение грузоперевозок и доли скальных пород в общем объеме извлекаемой горной массы. При этом уменьшаются параметры рабочей зоны карьера, увеличиваются темпы углубки горных работ. В связи с этим через 10–15 лет изменяются схемы и конструкции транспортных коммуникаций.

Установлено, что капитальные затраты на транспорт составляют 60–65 всех затрат на

строительство и поддержание производственной мощности карьера, а эксплуатационные расходы (по мере углубления горных работ) возрастают с 40–45 в начале работ до 70–80 общих затрат при отработке глубинных горизонтов [1]. В этих условиях транспорт приобретает решающее значение и поэтому успешное решение транспортных проблем приводит к повышению эффективности эксплуатации глубоких карьеров.

Известно одновременное использование нескольких независимо работающих видов транспорта в различных зонах карьера (зональное применение) и поочередное их использование на различных этапах разработки месторождения, когда новый вид транспорта полностью заменяет ранее применявшийся (поэтапное применение) [2].

При поэтапном развитии карьера осуществляется переход на принципиально новые схемы транспорта или принимаются локальные решения по отдельным его видам с целью увеличения производительности или обеспечения стабильности работы транспорта с глубиной. Поэтапное развитие карьера и транспорта должно предусматривать необходимое опережение вскрыши, своевременное приведение бортов карьера в устойчивое положение, создание требуемых размеров рабочих площадок, транспортных берм. Несоблюдение этих условий приводит к затруднению, а иногда и к невозможности применения наиболее целесообразного на данном этапе вида транспорта.

Необходимость использования нескольких видов транспорта становится особенно очевидной при значительной глубине разработки. Процесс транспортирования горной массы при комбинациях видов транспорта осуществляется путем устройства перегрузочных пунктов для перемещения горной массы из одного вида транспорта в другой. При этом каждый вид транспорта работает в наиболее удобных и выгодных для него условиях, чем достигается наибольшая технико-экономическая эффективность транспортного процесса.

В настоящее время в рудной промышленности, где большинство карьеров (около 65) относятся к разряду глубоких, распространено зональное и поэтапное применение, как основных видов карьерного транспорта, так и их комбинаций.

При этом комбинированным транспортом выполняется около 30 всех перевозок, а в перспективе на его долю будет приходиться более 50 объемов. На карьерах железорудной отрасли применяются комбинации автомобильного транспорта с железнодорожным, конвейерным и скиповым, а также сочетания железнодорожного транспорта с конвейерным и автомобильно-конвейерным транспортом.

В угольной промышленности, где более 80 карьеров имеют глубину менее 150 м, распространено зональное и поэтапное применение автомобильного и железнодорожного видов транспорта. Удельный вес комбинированного транспорта составляет около 3,5 от общего объема транспортной вскрыши Кузбасса. Малый объем перевозок комбинированным транспортом объясняется не только спецификой горно-геологических условий залегания угольных пластов и относительно небольшой глубиной разрезов, но и рядом субъективных факторов.

Анализ показывает, что применение комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта наиболее целесообразно:

- на карьерах с большим объемом горной массы и значительным расстоянием транспортирования на поверхности, когда применение только железнодорожного транспорта вызывает резкое снижение производи-тельности погрузочно-транспортного комплекса оборудования и рост стоимости перевозок с увеличением глубины;
- при ограниченных размерах карьера на нижних горизонтах, не позволяющих укладывать железнодорожные пути с допустимыми уклонами и радиусами кривых;
- при сложном залегании полезного ископаемого, (например, когда требуется селективная выемка);
- когда по условиям транспорта не обеспечивается своевременная подготовка новых рабочих горизонтов.

Опыт работы глубоких карьеров, практика проектирования и научные исследования показывают, что переход на комбинированный автомобильно-железнодорожный транс-порт целесообразно производить после глубины карьера 60–80 м.

Комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт обладает следующими преимуществами по сравнению с железнодорожным транспортом:

- в 1,1–1,4 раза повышается производительность экскаваторов за счет увеличения на 10–20 % коэффициента обеспечения забоя порожняком и сокращения на 50–100 % непланируемых простоев, вызванных авариями и ремонтом путей;
- в 1,3–1,8 раза повышается производительность локомотивосоставов за счет сокращения на 10–15 % расстояния транспортирования, увеличения на 10–20 % средней скорости движения, на 30–50 % – интенсивности погрузки и на 10–20 % веса поезда;
- на 20–25% повышается эксплутационная надежность железнодорожного транспорта;
- на 50–60% сокращается численность трудящихся, занятых на работах по содержанию и передвижке путей и на 20–25 % – работников службы тяги и депо;
- на 35–45 % снижается стоимость перевозок горной массы;
- на 35–45 % снижаются капитальные затраты на железнодорожный транспорт за счет упрощения схем электроснабжения и путевого развития, исключения ряда погрузочных пунктов с разъездами и соединительными путями, сокращения количества рабочих составов;
- повышается интенсивность ведения горных работ – увеличение годовых объемов производства в 1,2-1,3 раза, рост темпов углубления горных работ в 2,0–2,5 раза, сокращение текущего коэффициента вскрыши в 1,2–1,5 раза.

В последнее время наряду с комбинацией автомобильно-железнодорожного транспорта много внимания уделяется комбинациям конвейерного и других видов транспорта.

Основные преимущества конвейерного транспорта по сравнению с традиционными автомобильным и железнодорожным следующие: улучшение показателей ресурсосбережения, возможность перемещения горной массы при углах наклона трассы 16 – 18°, работа в автоматическом режиме, высокая производительность и экологичность. Наилучшие технико-экономи-ческие показатели конвейерный транспорт имеет при годовых объемах перевозок 10–20 млн $м^3$ и более, расстояниях транспортирования до 5 км, при разработке больших и ограниченных по площади месторождений с прямолинейным фронтом работ.

К недостаткам конвейерного транспорта относятся: жесткие требования к влажности и кусковатости материала (размеры куска не должны превышать 400–500 мм), зависимость от климатических условий, относительно высокая энергоемкость, повышенные требования к надежности. Кроме того, неэффективно применение конвейерного транспорта при малых грузопотоках.

Наибольшее распространение конвейерный транспорт получил в рудной промышленности в схемах поточной технологии с использованием роторных экскаваторов на карьерах Никополь-марганцевого бассейна, Курской магнитной аномалии и в схемах циклично-поточной технологии с использованием одноковшовых экскаваторов на карьерах черной и цветной металлургии.

В угольной промышленности собственно конвейерным транспортом перемещается немногим более 6 % угля и 0,1 % транспортной вскрыши. Применение поточной технологии с использованием роторных экскаваторов (комплексов) ЭР-1250 производительностью 1150 $м^3$/час в плотном теле, ленточных конвейеров и отвалообразователя для разработки передового уступа, содержащего глинистые породы, исчерпывается транспортным комплексом на разрезе «Широкий» (Дальний Восток) и вскрышным комплексом ЭРП-5250 ВС с транспортно-отвальным оборудованием на разрезе Березовском Канско-Ачинского бассейна, разрабатывающего уступы, представленные глинами.

Опыт, накопленный в области конвейеризации транспорта в отечественной и зарубежной практике, дает основание считать возможным его эффективное применение в Сибири и в восточных районах нашей страны. К настоящему времени проведены теоретические, экспериментальные и проектные работы по исследованию возможностей использования конвейерного транспорта для условий основных горнодобывающих отраслей и регионов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что применение современных средств конвейерного транспорта и устройств для предварительного дробления скальных пород, позволяет транспортировать их с большой глубины.

Большие перспективы имеют схемы с комбинациями конвейерного и других видов транспорта. Так, на нижних горизонтах глубоких карьеров может получить распространение циклично-поточная технология с комбиниро-

ванными видами транспорта – конвейерного в сочетании с автомобильным и железнодорожным транспортом. Наиболь-ший удельный вес будет занимать автомобильно-конвейерный транспорт, характерной особенностью которого является сочетание непрерывности перемещения горной массы конвейерами, работающими под большим уклоном, с высокопроизводительными транс-портными средствами, работающими эффек-тивно на коротком расстоянии.

В настоящее время комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт получил распространение на ряде карьеров черной и цветной металлургии (карьеры Криворожского бассейна, Навоинского горно-металлурги-ческого комбината и др.). В угольной отрасли этот вид транспорта пока не применяется.

Исследованиями и проектными проработками установлено, что ввод комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта на глубоких карьерах (350 м и более) экономически целесообразен при глубине разработки 80–150 м и более, в зависимости от горно-технических условий. При переходе от железнодорожного транспорта к комбинированному, карьеры, имеющие развитую сеть железнодорожных коммуникаций на верхних горизонтах и на поверхности, могут эффективно применять и трехзвенные схемы – автомобильно-конвейерно-желез-нодорожный транспорт.

Применение комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта наиболее целесообразно в следующих условиях:

- при больших грузопотоках и достижении значительной глубины разработки, увеличении расстояния перемещения грузов, невозможности размещения конвейерных линий на нижних горизонтах;
- при сложном залегании полезного ископаемого, ограниченной длине разрабатываемых криволинейных забоев;
- при наличии крепких пород и руд, требующих дробления и разрушения негабаритных кусков;
- при большой длине транспортирования на поверхности, отличающейся сложной

гипсометрией, и необходимостью преодоления препятствий.

Основные преимущества комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта заключаются в следующем:

- появляется возможность перемещения горной массы на поверхность под большим уклоном, чем при автомобильном и железнодорожном транспорте,
- в связи с сокращением транспортирования конвейерный транспорт мало чувствителен к глубине разработки (при углубке на 100 м стоимость транспортирования увеличивается на 5–6 %, в то время как при железнодорожном транспорте она возрастает в 1,6–1,7 раза);
- уменьшается разнос бортов карьера и траншей, что сокращает объем горных работ;
- за счет конвейерного звена в пять раз и более раз повышается производительность труда по сравнению с железнодорожным транспортом;
- появляется возможность полной автоматизации технологических процессов и сокращения ручного труда.

Перечисленные преимущества комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта позволяют при применении его в схемах ЦПТ на карьерах снизить себестоимость добычи на 15–20 % и увеличить производительность труда рабочего по карьеру в 1,5–2,0 раза.

Таким образом, использование комбинаций различных видов транспорта при разработке угольных месторождений Сибири позволит разрешать транспортные проблемы и повысит эффективность открытой добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев М.В., Яковлев В.А.* Научные основы проектирования карьерного транспорта. – М.: Наука, 1972, с. 185.

2. *Васильев М.В.* Повышение эффективности действующих видов карьерного транспорта с возрастанием глубины карьеров. / Проблемы разработки горизонтов глубоких каьеров/ – Киев: Наукова думка, 1982, с. 27–33.

Коротко об авторах

Кортелев Олег Борисович – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории открытой геотехнологии,
Мотовилов С.Г. – старший научный сотрудник лаборатории открытой геотехнологии,
Норри В.К. – старший научный сотрудник лаборатории открытой геотехнологии,
ИГД СО РАН.