

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.271.332:621.879

В.С. Федотенко

ВЫБОР КОМПЛЕКСОВ ГОРНОГО И ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОГО ВСКРЫШНОГО УСТУПА

Транспортная технология на разрезах Кузбасса занимает доминирующее положение. Так на предприятиях крупнейшей в бассейне компании «Кузбассразрезуголь» ее доля от общего объема вскрышных работ составляет 89,16% (в том числе 86,8% с вывозкой породы автосамосвалами).

До конца прошлого столетия на всех разрезах бассейна для выемки и погрузки вскрышных пород в транспортные сосуды применялись в основном однотипные экскаваторы – одноковшовые прямые механические лопаты отечественного и зарубежного производства. Это экскаваторы фирм: «Уралмаш» (УЗТМ), «Ижорский завод», «Крастяжмаш» (ЭКГ), «Харнишвегер» (РН), «Сумитомо-Марион» (201М). Вместимость ковша у этих экскаваторов составляет 5-16 м³.

Экскаваторы этого типа с удлиненным рабочим оборудованием используется в комплексе с железнодорожным транспортом при проведении разрезных траншей. При этом экскаватор загружает породу в думпкары, установленные выше уровня своего стояния, т.е. работает с верхней погрузкой.

Ниже рассматривается транспортная технология, включающая комплекс машин, состоящих из прямых мехлопат с рабочим оборудованием в обычном исполнении и автосамосвалов-породовозов. Эти экскаваторы работают с верхним черпанием породы из забоя и отгружают ее в кузов автосамосвала на уровне своего стояния. Затем вскрышные породы с нижней площадки уступа вывозятся породовозами на отвалы.

При использовании прямых мехлопат на выемке и погрузке породы высота уступа определяется, исходя из максимальной высоты черпания экскаватора. При разработке крепких полускальных пород с применением буровзрывного рыхления она может быть принята равной 1,5 высоте черпания, но высота развала породы после взрыва не должна превышать его высоту черпания.

Уже несколько десятилетий на разрезах Кузбасса в транспортной технологии (наряду с прямыми мехлопатами) успешно используются шагающие драглайны ЭШ-10.60, ЭШ-10.70, ЭШ-13.50, ЭШ-15.90.

В отличие от прямых мехлопат, драглайн способен производить черпание породы ниже

уровня своего стояния. Так, размещаясь на верхней площадке уступа или на спланированной площадке развала породы после взрыва, драглайн может разрабатывать вскрышной уступ высотой равной его глубине черпания, которая для указанных выше марок экскаваторов составляет 35, 35, 21 и 42,5 м. Например, при работе с автотранспортом, драглайн нижним черпанием производит выемку породы из массива, поднимает ее в ковше на высоту обрабатываемого горизонта, выполняя практически транспортную работу, и загружает в кузов автосамосвала на уровне своего стояния.

Начиная с двухтысячного года, на предприятиях открытой разработки угля в бассейне отмечается резкий скачок в обновлении экскавационной техники. На многие разрезы поступают импортные гидравлические экскаваторы типа прямая и обратная лопата фирм: «Катерпиллер» (Cat.), «Либхер» (R), «Терекс» О унд К (RH), «Комацу» (PC), «Хитачи» (ZX), «Вольво» (EC).

Гидравлические экскаваторы, особенно обратные лопаты, обладают более широким (по сравнению с прямыми мехлопатами) диапазоном технологических возможностей. Например, располагаясь на промежуточном горизонте, обратная лопата при выемке породы из массива может одновременно работать с верхним и нижним черпанием, а также осуществлять погрузку ее в автосамосвалы ниже или выше уровня своего стояния. Гидравлические обратные лопаты на разрезах Кузбасса в настоящее время используются как на добыче угля и отработке угольно-породных блоков, так и при производстве вскрышных работ.

Существенно обновляется и парк буровых станков. При взрывной подготовке пород к экскавации для бурения скважин используются станки отечественного производства ЗСБШ-200-60, 6СБШ-200-32, СБШ-250-МНА-32, СБШ-270ИЗ с глубиной бурения 32-60 м, а также импортные – DM-45E, DM-M2, DML-1200 способные бурить скважины глубиной 45-53 м. Постоянно растет грузоподъемность применяемых на разрезах автосамосвалов. Уже сейчас для перевозки вскрышных пород на отвалы применяются большегрузные самосвалы-породовозы грузоподъемностью 120, 130, 200, 220 и даже 320 тонн.

Несмотря на расширение диапазона техноло-

гических возможностей, существенный рост мощности и увеличение параметров рабочего оборудования поступающей на разрезы выемочно-погрузочной и буровой техники, главный параметр технологии – высота уступа практически не изменилась. В основном она как была, так и осталась равной высоте ранее нарезанных на разрезе горизонтов, т.е. 10-15 м. Однако в практике разрезов немало примеров, когда нарезанные вскрышные горизонты разрабатываются мощными экскаваторами слоями высотой 5-7 м.

Таким образом, на разрезах создается ситуация, при которой с одной стороны идет обновление парка горного оборудования за счет импортных буровых станков с глубиной бурения более 45-50 м, мощных экскаваторов-мехлопат с вместимостью ковша 30 и 54 м³, гидравлических прямых и обратных лопат, наработан достаточный опыт по погрузке породы драглайнами в автосамосвалы, а с другой стороны наблюдается консервативная неизменность и даже (в ряде случаев) уменьшение высоты обрабатываемого вскрышного уступа. Последнее негативно сказывается на производительности буровой и экскавационной техники и, следовательно, на эффективности работы горно-транспортного комплекса в целом.

Поэтому появилась необходимость в экономическом обосновании высоты вскрышного уступа для различных типов экскаваторов по совокупности эксплуатационных затрат трех взаимосвязанных между собой процессов – бурение скважин, выемочно-погрузочные работы и транспортирование породы на верхнюю площадку уступа. При этом затраты на взрывчатые вещества для всех вариантов принимаются одинаковыми, т.к. взрывная подготовка производится для экскаваторов с вместимостью ковшей одного порядка, что требует равного удельного расхода ВВ.

Критерием оптимальности высоты породного уступа приняты эксплуатационные затраты (Z_{Σ}),

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{бур}} + Z_{\text{в-п.р}} + Z_{\text{тп}}, \text{ руб/м}^3,$$

где $Z_{\text{бур}}$ – эксплуатационные затраты по процессу бурения, руб/м³

$$Z_{\text{бур}} = \frac{C_{\text{бур}}}{V_{\text{ГМ}}}$$

$C_{\text{бур}}$ – стоимость бурения 1 п.м. скважины, руб (например, фактическая стоимость бурения 1 п.м. скважины бурстанком DML-1200 в 2010 г. составила 96 руб);

$V_{\text{ГМ}}$ – выход горной массы с 1 п.м. скважины, м³ (зависит от высоты уступа [1]).

$Z_{\text{в-п.р}}$ – эксплуатационные затраты по процессу выемочно-погрузочные работы, руб/м³

$$Z_{\text{в-п.р}} = \frac{Z_{\text{год}}^{\text{экс}}}{Q_{\text{год}}}$$

$Z_{\text{год}}^{\text{экс}}$ – фактические (за 2010 г.) годовые эксплуатационные затраты на экскаватор, руб;

$Q_{\text{год}}$ – годовая производительность экскаватора, м³/год (рассчитывается по методике проектных организаций и «Типовых технологических схем ведения горных работ на угольных разрезах» с учетом сложности условий разработки [1,2]).

$Z_{\text{тп}}$ – затраты по транспортировке породы на верхнюю площадку уступа, руб/м³

$$Z_{\text{тп}} = l_c \cdot C_{\text{ткм}} \cdot \gamma / 1000 = \frac{h \cdot C_{\text{ткм}} \cdot \gamma}{1000 \cdot i}$$

$l_c = h/i$ – длина скользящего съезда, которая преодолевается автосамосвалом при перевозке породы с нижней на верхнюю площадку уступа, м

h – высота обрабатываемого вскрышного уступа, м; i – подъем (уклон) трассы скользящего съезда, %; $C_{\text{ткм}}$ – стоимость (фактическая за 2010 г.) перевозки 1 т породы в автосамосвале на расстояние в 1 км, руб (для БелАЗ-7512(14) $C_{\text{ткм}} = 4,08$ руб; для БелАЗ-75131 $C_{\text{ткм}} = 4,16$ руб); γ – плотность породы, т/м³

Результаты расчетов по оптимизации высоты вскрышного уступа представлены на рис. 1.

Здесь видно, что оптимальная высота уступа для комплексов с экскаваторами типа прямая механическая лопата равна максимальной высоте черпания экскаватора.

Для драглайнов ЭШ-10.70 и ЭШ-14.50 высота вскрышного уступа, полученная по минимальным эксплуатационным затратам комплекса оборудования, находится в пределах 16-20 м. Это несмотря на то, что максимальная глубина черпания у этих выемочно-погрузочных машин составляет соответственно 35 и 21 м. С увеличением высоты уступа у шагающих драглайнов возрастает время цикла экскавации за счет операции подъема породы в ковше на верхнюю площадку уступа. Этим объясняется снижение их производительности и, в целом, увеличение эксплуатационных затрат.

Для всех типов экскаваторов и буровых станков с уменьшением высоты обрабатываемого вскрышного уступа наблюдается рост эксплуатационных затрат, что связано с сокращением времени использования техники на основной работе и, следовательно, снижением производительности. Кроме того, при взрывании вскрышных уступов малой высоты уменьшается, также, выход горной массы с 1 м скважины.

Вместе с тем, результаты ряда выполненных научных исследований и практика работы рудных карьеров [3-7] свидетельствуют о эффективности разработки вскрышной толщи высокими ($h=25-30$ м) уступами.

На разрезах Кузбасса при переходе к разработке более глубоких горизонтов по транспортной (с использованием автотранспорта) технологии

имеются все предпосылки к применению высоких вскрышных уступов в безугольной зоне. К основным из этих предпосылок относятся:

- высокие прочностные характеристики полускальных пород, которые возрастают с глубиной и обеспечивают большой запас устойчивости откосов уступов (высота уступа при угле откоса $\varphi = 70^\circ$ может достигать 50-70 м);
- наличие буровых станков с глубиной бурения до 53-60 м;
- наличие на разрезах различных типов выемочно-погрузочных машин в том числе и экскаваторов, которые могут работать с нижним и верхним черпанием и погрузкой породы в автосамосвалы на уровне, ниже и выше уровня установки экскаватора;
- поступление на разрезы большегрузных автосамосвалов-породовозов грузоподъемностью 220-320 тонн;
- богатый опыт, накопленный производст-

венниками за многие годы работы, по прицельной погрузке породы драглайнами в кузов автосамосвала.

В настоящее время разработка вскрыши высокими уступами допускается при надлежащем составлении паспорта БВР, предусматривающего единовременное взрывание ВВ в пределах допустимого объема, и технологической карты.

УПП ИПКОН РАН совместно с ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского предлагают обрабатывать вскрышу на разрезах высокими (24-30 м) уступами с использованием кранлайнов с вместимостью ковша 15-25 м³ [3,4]. Кранлайн представляет собой драглайн шагающий погрузочный (ДШП). Этот экскаватор сочетает в себе преимущества мехлопаты (мягкая безударная прицельная выгрузка породы из ковша в кузов автосамосвала) и драглайна (способность обрабатывать высокие уступы и проходить глубокие траншеи с нижним черпанием). Однако кранлайны пока еще промышленностью не выпускаются.

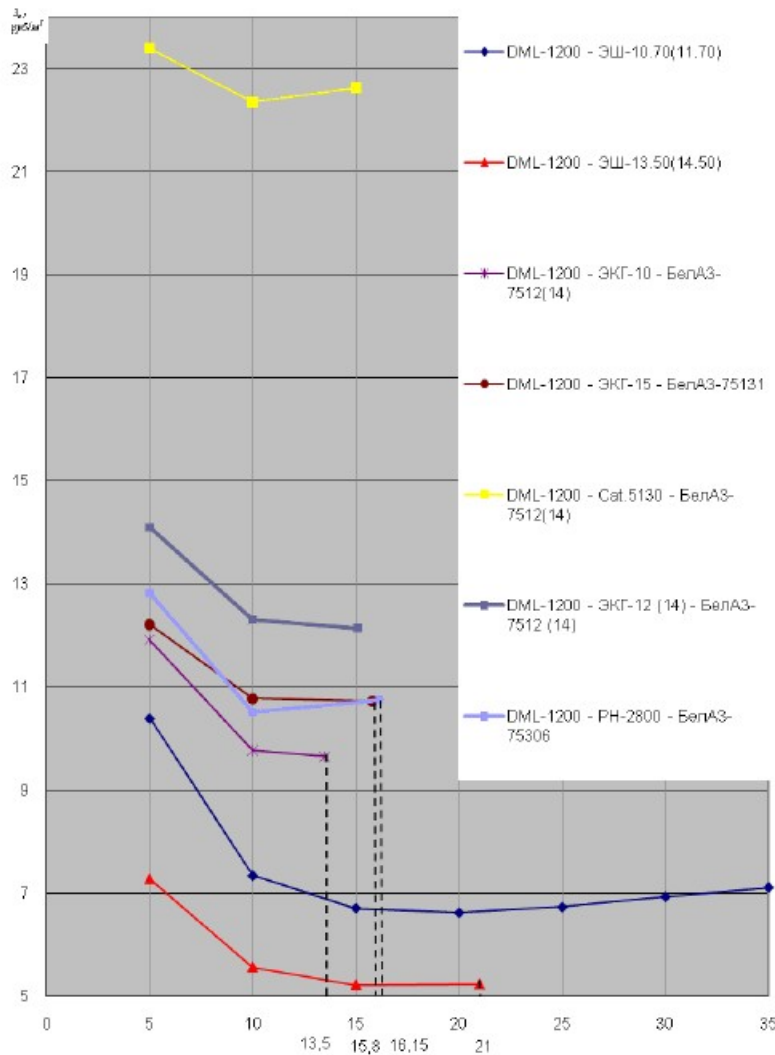


Рис. 1. Изменение суммарных (по процессам бурение, выемочно-погрузочные работы и транспортирование породы на верхнюю площадку уступа) эксплуатационных затрат на 1 м³ вскрыши (ZΣ) в зависимости от высоты разрабатываемого уступа (h) при использовании различных комплексов горно-транспортного оборудования

Применение же для разработки уступа высотой 30 м только драглайна ЭШ-10.70 не подтверждается экономически (см. рис.1), а также малоэффективно из-за низкой интенсивности ведения вскрышных работ в целом (скорость продвижения забоя экскаватора вдоль фронта составляет не более 2,5 метров в смену).

Поэтому на данном этапе развития землеройной техники в области открытых горных работ, для разрезов Кузбасса могут быть рекомендованы технологические схемы, предусматривающие раз-

работку высокого вскрышного уступа слоями.

Практически в условиях разрезов бассейна, где имеется резерв фронта горных работ в расчете на один экскаватор, укрупнить вскрышные уступы до $h=30$ м можно за счет совмещения смежных по высоте нарезанных горизонтов.

Применительно к углубочной системе разработки варианты технологических схем ведения вскрышных работ на уступе (в общем виде) и комбинации комплексов оборудования представлены на рис. 2.

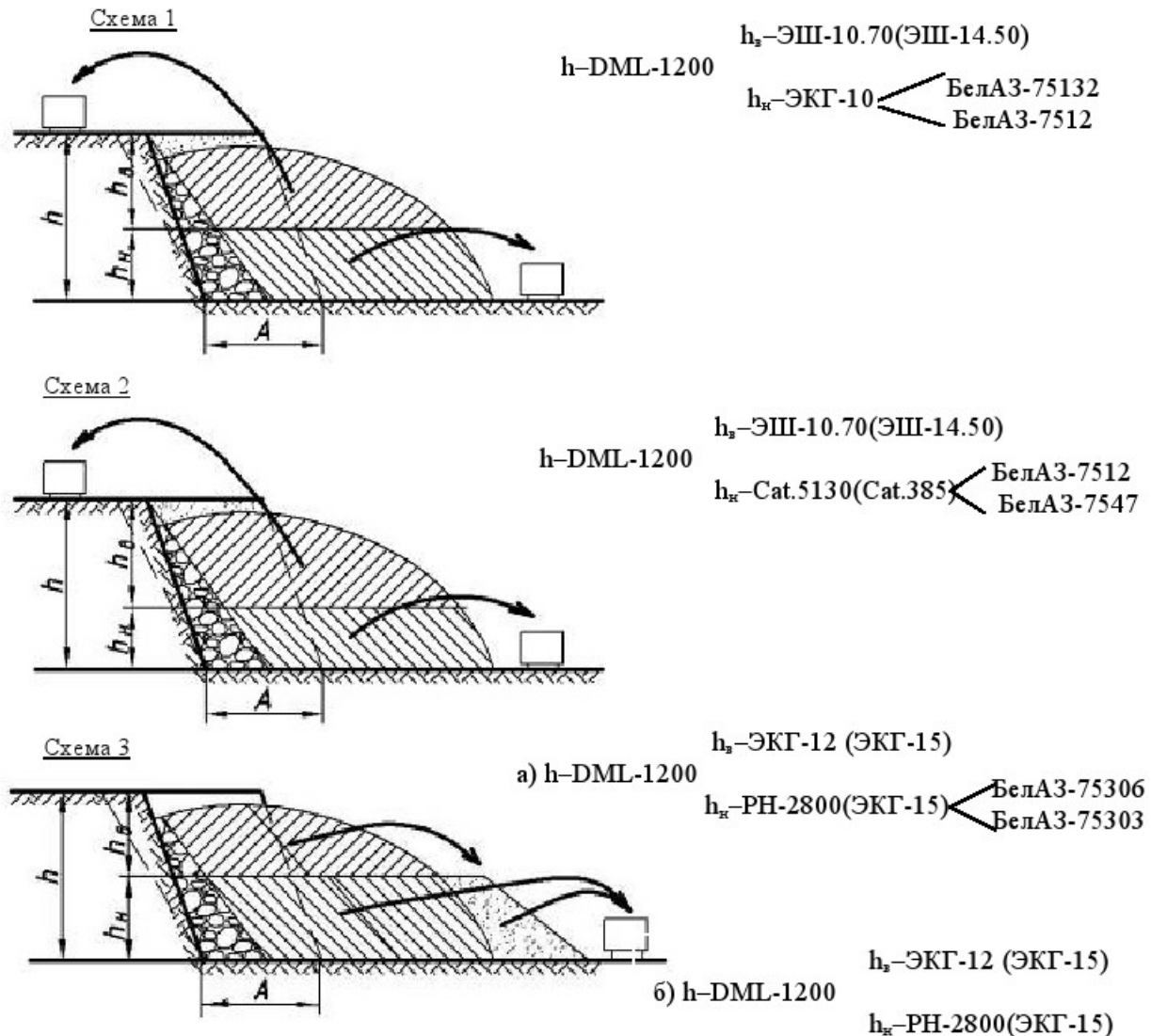


Рис. 2. Варианты схем разработки высокого вскрышного уступа в два слоя с использованием различных комплексов горно-транспортного оборудования

Из схем рис. 2 видно, что взрывание высокого вскрышного уступа производится сразу на полную высоту с применением подпорной стенки, а выемка породы из развала осуществляется в два слоя. Основное различие схем - в следующем.

Схемы 1,2 и 3-а применяются в условиях движения вскрышного грузопотока из забоя на поверхность разреза в восходящем порядке. Так, в

схемах 1,2 драглайн при разработке верхнего слоя выполняет транспортную работу путем подъема породы в ковше на верхнюю площадку уступа, в то время как в схеме 3-а верхний экскаватор - мехлопата сбрасывает породу на нижнюю площадку, где происходит погрузка всего объема взорванной породы уступа мощной прямой лопатой в кузов породовоза с последующей доставкой ее

Таблица 1. Скорость подвигания забоя при разработке верхнего и нижнего слоя высокого вскрышного уступа с использованием различных комплексов оборудования

№ схемы	Комплекс экскаваторного и транспортного оборудования		Ширина заходки, м	Высота, м		Доля площади сечения слоя в общей площади забоя, $\frac{d_{h_n}}{d_{h_n}}$	Сменная производительность экскаватора, м ³	Скорость подвигания забоя (вдоль фронта горных работ), м/см
	комплект экскаваторов	автосамосвал		уступа	обрабатываемого слоя, $\frac{h_e}{h_n}$			
1	ЭШ-10.70	-	20	30	17	0,42	1640	6,50
	ЭКГ-10	БелАЗ-75132			13	0,58	2250	6,47
	ЭШ-14.50	-	20	30	19	0,5	2249	7,49
	ЭКГ-10	БелАЗ-75132			11	0,5	2245	7,48
2	ЭШ-14.50	-	20	30	20	0,51	2235	7,30
	Cat 5130	БелАЗ-7512			10	0,49	2131	7,25
3	ЭКГ-12	-	20	30	14	0,44	4216	15,97
	РН-2800	БелАЗ-75306			16	1	9592	15,98

уже автотранспортом на верхнюю площадку. Схема 3-б применима, когда общее направление движения вскрышного грузопотока идет в нисходящем порядке и нет нужды доставлять породу на верхнюю площадку уступа, так как она сразу вывозится автосамосвалами на отвал (например, на разрезах с гористым рельефом поверхности).

Для каждой из представленных схем разработки высоких вскрышных уступов (см. рис.2) было рассмотрено несколько вариантов комплексов горно-транспортного оборудования, включающих однотипные и разнотипные экскаваторы, а именно, шагающие драглайны (ЭШ), прямые механические (ЭКГ, РН) и обратные гидравлические (Cat.) лопаты.

Выбор рациональных комплексов горно-транспортного оборудования в указанных выше схемах производился по условию равенства скорости подвигания забоя при разработке верхнего и нижнего слоя породы высокого уступа. Скорость подвигания забоя рассчитывалась по формуле

$$g_s = \frac{Q_{см}}{h \cdot A \cdot d_{h_n} (d_{h_n})}, \text{ м в смену,}$$

где $Q_{см}$ - сменная производительность экскаватора, м³, h - высота уступа, м, A - ширина заходки, м, d_{h_n}, d_{h_n} - доля площади сечения забоя соответственно верхнего и нижнего слоя в общей площади забоя высокого уступа.

В табл. 1 из общего количества рассмотренных вариантов комплексов горно-транспортного оборудования (см. рис. 2) выбраны и показаны только те, которые отвечают принятому критерию, т.е. равенству скоростей подвигания забоя в верхнем и нижнем слое высокого уступа.

Эффективность вариантов той или иной технологической схемы разработки высокого вскрышного уступа с выбранным комплексом горного и транспортного оборудования определя-

лась, исходя из эксплуатационных затрат на бурение скважин, выемочно-погрузочные работы и транспортировку породы на верхнюю площадку данного уступа.

Суммарные эксплуатационные затраты (руб/м³) вскрыши для каждого варианта схемы определялись по формулам:

Схема 1

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{выр}} + Z_{\text{с-н.п}}^{\text{dp}} \cdot d_{h_n}^{\text{dp}} + d_{h_n}^{\text{н.л}} \cdot (Z_{\text{с-н.п}}^{\text{н.л}} + Z_{\text{нр}});$$

Схема 2

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{выр}} + Z_{\text{с-н.п}}^{\text{dp}} \cdot d_{h_n}^{\text{dp}} + d_{h_n}^{\text{о.л}} \cdot (Z_{\text{с-н.п}}^{\text{о.л}} + Z_{\text{нр}});$$

Схема 3 а)

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{выр}} + Z_{\text{с.п}}^{\text{н.л}} \cdot d_{h_n}^{\text{н.л}} + (d_{h_n}^{\text{н.л}} + d_{h_n}^{\text{н.л}}) \cdot (Z_{\text{с-н.п}}^{\text{н.л}} + Z_{\text{нр}})$$

б)

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{выр}} + Z_{\text{с.п}}^{\text{н.л}} \cdot d_{h_n}^{\text{н.л}} + (d_{h_n}^{\text{н.л}} + d_{h_n}^{\text{н.л}}) \cdot Z_{\text{с-н.п}}^{\text{н.л}}$$

где $Z_{\text{с-н.п}}^{\text{dp}}, Z_{\text{с-н.п}}^{\text{н.л}}, Z_{\text{с-н.п}}^{\text{о.л}}$ - эксплуатационные затраты по процессу выемочно-погрузочные работы экскаваторами соответственно драглайном, прямой механической и обратной гидравлической лопатой, руб/м³;

$d_{h_n}^{\text{dp}}, d_{h_n}^{\text{н.л}}$ - доля площади сечения забоя верхнего слоя, разрабатываемого соответственно драглайном и прямой мехлопатой, в общей площади сечения забоя высокого уступа;

$d_{h_n}^{\text{н.л}}, d_{h_n}^{\text{о.л}}$ - доля площади сечения забоя нижнего слоя, разрабатываемого соответственно прямой и обратной лопатой, в общей площади сечения забоя высокого уступа.

Результаты расчета эксплуатационных затрат по процессам и суммарных затрат на 1 м³ вскрыши для схем разработки высокого вскрышного уступа с выбранным комплексом оборудования представлены в табл. 2.

Таким образом, из табл. 2 видно, что по минимуму суммарных эксплуатационных затрат на

Таблица 2. Суммарные эксплуатационные затраты на 1 м³ вскрыши в схемах разработки высокого уступа при использовании различных комплексов горно-транспортного оборудования

№ схемы	Комплекс горного и транспортного оборудования			Эксплуатационные затраты по про- цессам на 1 м ³ вскрыши, руб			Суммарные эксплуатаци- онные затраты на 1 м ³ вскрыши, руб	
	буровой станок	комплект экскава- торов	автосамо-свал	бурение скважин	выемоч- но- погру- зочные работы	транспор- тирование породы на верхнюю площадку уступа		
1	DML- 1200	ЭШ-10.70	-	1,28	5,66	-	9,19	
		ЭКГ-10	БелАЗ-75132		5,8	3,74		
		ЭШ-14.50	-		4,12	-	8,12	
		ЭКГ-10	БелАЗ-75132		5,82	3,74		
2	DML- 1200	ЭШ-14.50	-	1,37	4,15	-	14,39	
		Cat.5130	БелАЗ-7512		18,58	3,67		
3	a	DML- 1200	ЭКГ-12	-	1,15	4,58	-	14,34
			РН-2800	БелАЗ-75306		7,66	3,3	
			ЭКГ-12	-		4,58	-	10,82
			РН-2800	-		7,66	-	

1 м³ вскрыши для разработки высокого уступа наиболее эффективным является комплекс оборудования, состоящий из бурового станка DML-1200, комплекта экскаваторов ЭШ-14.50 и ЭКГ-10 и автосамосвала БелАЗ-75132 (схема 1). Вариант с использованием в этом комплексе гидравлического экскаватора Cat. 5130 вместо мехлопаты ЭКГ-10 менее эффективен из-за высоких затрат обратной лопаты (см. рис. 1). С применением этого комплекса оборудования суммарные эксплуатационные затраты в целом по схеме 2 возрастают почти в 1,8 раза.

При высокой интенсивности ведения вскрыш-

ных работ на разрезе ($\mathcal{G}_0 = 15-16$ м в смену) возможно применение (естественно, с увеличением суммарных эксплуатационных затрат на 1 м³ вскрыши) комплекса оборудования, включающего комплект экскаваторов ЭКГ-12 и РН-2800 и автосамосвал БелАЗ-75306 грузоподъемностью 220 тонн (схема 3-а). Однако с большей эффективностью этот комплект мощных прямых мехлопат может быть применен на разрезах, разрабатывающих месторождения с гористым рельефом поверхности, когда вскрышные горизонты (уступы) располагаются выше отвальных ярусов породы (схема 3-б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненашев А.С. Технология ведения горных работ на разрезах при разработке сложноструктурных месторождений / А.С.Ненашев, В.Г. Проноза, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 248 с.
2. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Недра, 1982. – 402 с.
3. Кранлайны – техника открытых горных работ XXI века / К.Н. Трубецкой, Н.П. Сеинов, Н.Н. Киселев, И.А. Сидоренко // Уголь. – 1999. - №11. – С.46-49.
4. Технология отработки вскрыши высокими уступами с применением экскаваторов – кранлайнов / К.Н. Трубецкой, И.А. Сидоренко, Н.П. Сеинов, Ю.П. Самородов // Горный журнал. – 2000. – С. 31-41.
5. Друкованный М.Ф. Взрывание высоких уступов / М.Ф. Друкованный, Э.И. Ефремов, М.Г. Новожилов, А.А. Терещенко. – М.: Недра, 1964. – 108 с.
6. Рыбаков Б.Н. Исследование и обоснование технико-технологических условий обеспечения полноты выемки пластов угля на карьерах Кузбасса // Автореф. канд. диссерт. М., 1980. с. 23.
7. Баулин А.В. Обоснование параметров технологии отработки вскрышных пород высокими уступами при транспортной системе разработки на угольных разрезах // Автореф. канд. диссерт. М., 2002. с. 23.

Автор статьи

Федотенко
Виктор Сергеевич,
– аспирант каф. технологии, механизации и организации открытых горных работ МГТУ
E-mail: victor_fedotenko@rambler.ru