УДК 622.271.324

А.С. Ненашев, В.Ф. Воронков

ТЕХНОЛОГИЯ НАРЕЗКИ НОВОГО ГОРИЗОНТА И ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ НА РАЗРЕЗАХ

Все месторождения Кузбасса, разрабатываемые открытым способом, представлены свитой пластов с различной мощностью, часто изменяющимися углами падения (даже в пределах отдельных локальных участков) и разнообразием марочного состава углей.

В границах каждого месторождения всю угольно-породную толщу условно можно разделить на две зоны. Зону, так называемой, чистой вскрыши, расположенную выше кровли верхнего разрабатываемого пласта свиты и угленесущую зону, т.е. зону пластов угля и междупластьев породы.

Специфика залегания угольных пластов и значительная протяженность месторождений предопределили применение на разрезах продольной углубочной (реже углубочно-сплошной) одно- или двухбортовой, преимущественно с внешними отвалами породы системы разработки и, в основном, транспортной технологии ведения горных работ. Причем, во вскрышной зоне применяется транспортная технология с использованием как железнодорожного, так и автомобильного транспорта. В угленасыщенной зоне, где наблюдается более высокий динамизм работы оборудования, ведется раздельная обработка угля и породы экскаваторами типа прямая механическая лопата с вывозкой горной массы автосамосвалами. На пологих (8-15^0) месторождениях нижние междупластья разрабатываются драглайнами с укладкой вскрышных пород в выработанное пространство, т.е. по бестранспортной технологии.

При разработке месторождений с наклонным (20-40°) залеганием угольных пластов, подготовка нового горизонта начинается с проходки разрезной траншеи по породе в кровле верхнего пласта свиты. Затем последовательно в нисходящем порядке разрабатываются угольные пласты и породные междупластья. Разнос бортов со стороны лежачего бока нижнего из разрабатываемых пластов угля не производится.

Однако, в указанных выше условиях проходка разрезной траншеи сразу на полную глу-

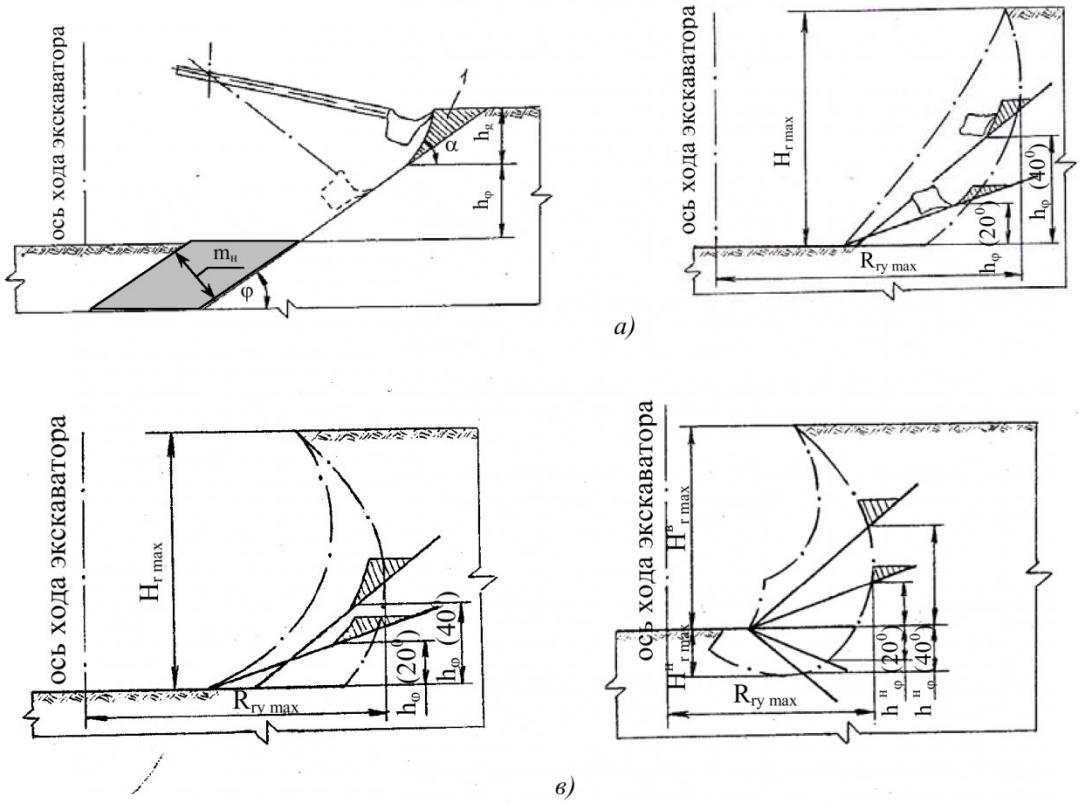


Рис.1. Схема к обоснованию высоты уступа (глубины траншеи) - h_φ по условию полного прочерпывания контакта «уголь-порода»: 1 – потери угля в «треугольнике прочерпывания»; а) экскаватор ЭКГ-12,5; б) экскаватор «Суперфронт» 204М; в) гидравлическая прямая лопата ЭГ-12.

Таблица 1

Значения высоты уступа (глубины траншеи) - h_φ
для различных экскаваторов по условию минимальных потерь угля

Тип экскаватора	Вид рабочего оборудования экскаватора	Марка экскаватора	Высота уступа (м) экскаватора (по условию полного прочерпывания угольно-породного контакта) при обработке пластов с углами падения, °		
			20	30	40
Прямая механическая лопата	в обычном исполнении	ЭКГ – 8и	2	3	5
		ЭКГ – 12,5	3	5	6
	удлиненное	ЭКГ – 6,3у	4	6	8
Прямая гидравлическая лопата	в обычном исполнении	ЭГ – 12	3,5	5,5	7

бину (15-16 м) экономически нецелесообразна по причине больших потерь угля из-за неприрочерпывания экскаватором типа прямая механическая лопата угольно-породного контакта. Эти потери представляют собой так называемые «треугольники непрочерпывания» и образуются на почве пласта в верхней части уступа (рис. 1).

Возможности по высоте прочерпывания угольно-породного контакта у разных типов и марок прямых мехлопат различные и зависят от угла падения пласта, конструктивных особенностей экскаваторов и траектории движения ковша (рис. 1).

Значения высоты уступа (глубины траншеи) - h_φ экскаваторов, при которой обеспечивается полное прочерпывание контакта «уголь-порода» и не образуется дополнительных потерь угля, представлены в табл.1.

Из представленных в табл. 1 данных следует, что для экскаваторов-мехлопат с обычным рабочим оборудованием при работе в угленасыщенной зоне с углом падения пластов 30-40° высота уступа, равная 5-6 м, соответствует минимальным потерям угля.

На разрезах бассейна, разрабатывающих наклонные месторождения, из-за оснащения их указанной выше выемочно-погрузочной техникой, нарезка нового горизонта осуществляется слоями мощностью именно 5-6 м.

Для определения величины дополнительных потерь угля, образуемых при увеличении высоты уступа сверх рекомендуемой по прочерпыванию контакта «уголь-порода», можно воспользоваться формулой [I]

$$П_д = \frac{h_д^2 \cdot \sin(\alpha' - \varphi)}{2 \sin\alpha' \cdot m_н \cdot h_\varphi} \cdot 100, \%$$

где h_φ и $h_д$ соответственно допустимая по условию полного прочерпывания угольно-породного контакта высота уступа и дополнительная приращиваемая к ней высота уступа, м; φ - угол падения пласта, рад; a' - угол откоса верхней части уступа, образованный траекторией движения ковша экскаватора, град; $m_н$ - нормальная мощность пласта, м.

Результаты расчетов по данной формуле для экскаватора ЭКГ-12,5 см. на рис.2.

Из графиков (рис. 2) видно, что с уменьшением мощности пласта ($m_н$) и увеличением высоты уступа сверх рекомендуемой по прочерпыванию ($h_\varphi + h_д$) дополнительные потери угля резко возрастают. Так, , если увеличить высоту уступа, рекомендуемую по прочерпыванию контакта «уголь-порода» для экскаватора ЭКГ-12,5 (табл. 1 и рис. 2), с 5 до 9 м ($h_\varphi + h_д$ = 5+4=9 м) при отработке пласта с углом падения 30° и мощностью 6 м, то дополнительные потери угля составят 15,3%. При этом общие потери угля (с учетом нормативных потерь) будут равны 25,0%, т.е. возрастут в 2,5 раза.

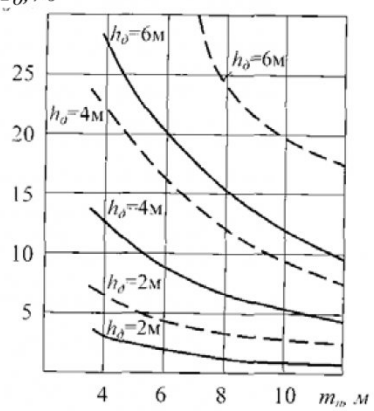


Рис.2 Изменение величины потерь угля в призме непрочерпывания ($П_д$) для экскаватора ЭКГ-12,5 в зависимости от мощности пласта ($m_н$), угла его падения (φ) и приращения высоты уступа ($h_д$)

– – – – – – – – – $\varphi=30^0$
————————— $\varphi=40^0$

Таким образом, осуществляя нарезку нового горизонта слоями мощностью, равной h_φ, удается работать без потерь угля в «треугольниках непрочерпывания»..

Однако, при проходке разрезной траншеи в несколько слоев появляются потери угля от зачистки рабочей площадки уступа (дна траншеи). Эти потери являются одними из составляющих нормативные потери угля. Величина их зависит от высоты отрабатываемого слоя-уступа (h_φ) [1]

$$П_{пл} = \frac{h_З}{h_\varphi} \cdot 100, \%,$$

где h_3 — толщина слоя угля, теряемого при зачистке рабочей площадки от пород вскрыши и балластировочного материала, м.

Кроме указанных, в нормативных потерях угля учитываются и другие составляющие потерь (рис. 3):

• потери угля, получаемые при зачистке кровли пласта

$$П_{кр} = \frac{h_1}{m_н} \cdot 100, \ \%$$

где h_1 – толщина слоя угля, теряемого в кровле пласта, м;

• потери угля от недобора в почве пласта

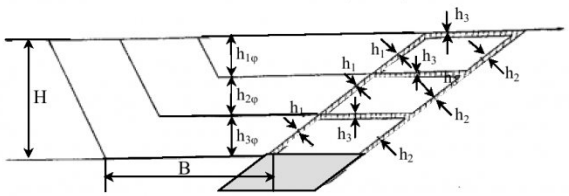
$$П_{пч} = \frac{h_2}{m_н} \cdot 100, \ \%$$

где h_2 – толщина слоя угля, оставляемого в почве пласта, м.

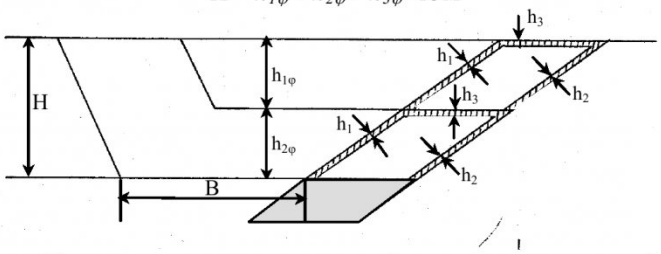
Результаты расчетов по определению нормативных потерь угля, выполненные по указанным выше формулам, а также с учетом того, что h_1=0,20 м, h_2=0,25 м, h_3=0,20 м [1], представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что при нарезке нового горизонта в несколько слоев и, следовательно, с последующей отработкой пласта слоями такой же мощности нормативные потери угля больше, чем при нарезке горизонта одним слоем, т.е. сразу за полную высоту уступа. Так, например, при отработке наклонного пласта мощностью 6 м экскаватором ЭКГ-12,5 в три слоя ($h_{1\varphi}$= $h_{2\varphi}$=$h_{3\varphi}$=5 м) нормативные потери угля составляют 19,4%, то время как при

I. Проходка траншеи в три слоя ($h_{1\varphi}$= $h_{2\varphi}$= $h_{3\varphi}$=5м)
H= $h_{1\varphi}$+ $h_{2\varphi}$+ $h_{3\varphi}$=15м



II. Проходка траншеи в два слоя ($h_{1\varphi}$= $h_{2\varphi}$=7,5м)
H= $h_{1\varphi}$+ $h_{2\varphi}$+ $h_{3\varphi}$=15м



III. Проходка траншеи в один слой, сразу на полную глубину
H= $h_{1\varphi}$ =15м.

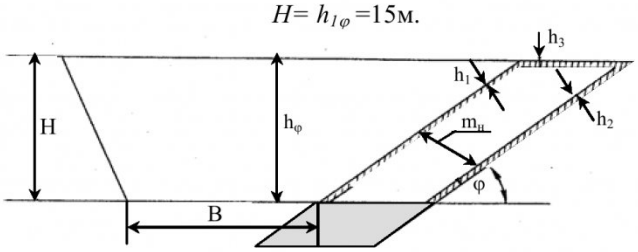


Рис. 3. Схемы к определению величины нормативных потерь угля; H – полная высота нарезаемого горизонта (уступа); B – ширина траншеи по дну.

отработке этого же пласта одним слоем (H=h_φ=15 м) они равны 8,7%.

Таким образом, с уменьшением высоты уступа (глубины разрезной траншеи) при нарезке нового горизонта и последующей отработке наклонного (20-40°) пласта экскаваторами типа прямая механическая лопата не удается избежать дополнительных потерь угля, т.к. вместо потерь в «треугольниках непрочерпы-вания» появляются потери от зачистки рабочей площадки.

В то же время затраты на теряемый уголь уже были произведены ранее на стадиях геолого-разведочных работ, вскрытии месторождения и подготовки пласта к выемке. Величина этих затрат соотносится с затратами на переработку 1 м^3 вскрыши. Кроме того, дополнительные потери угля — это уменьшение реальной прибыли предприятия.

Нарезка нового горизонта слоями оказывает негативное

Таблица 2

Величина нормативных потерь угля

Способы проходки разрезной траншеи, высота слоя	Величина нормативных потерь угля (в %) при различной мощности пласта					
	$m_н$=2м	$m_н$=4м	$m_н$=6м	$m_н$=8м	$m_н$=10м	$m_н$=12м
В три слоя $h_{1\varphi}$= $h_{2\varphi}$= $h_{3\varphi}$=5 м	34,5	23,2	19,4	17,6	16,5	15,8
В два слоя $h_{1\varphi}$= $h_{2\varphi}$=7,5 м	27,9	16,6	12,8	11,0	9,9	9,2
В один слой $h\varphi$= 15 м	23,8	12,5	8,7	6,9	5,8	5,1

Таблица 3

Сменная производительность экскаваторов на проходке разрезной траншеи

Способ проходки траншеи	Мощность разрабатываемого слоя, м		Коэффициент увеличения времени погрузки		Продолжительность погрузки автосамосвала, мин.		Сменная производительность экскаватора, м^3	
	ЭКГ-8и	ЭКГ-12,5	ЭКГ-8и	ЭКГ-12,5	ЭКГ-8и	ЭКГ-12,5	ЭКГ-8и	ЭКГ-12,5
В три слоя $h_{1\varphi}= h_{2\varphi}=h_{3\varphi}$	4,5	5	1,16	1,2	4,4	3,4	2331	2745
В два слоя $h_{1\varphi}= h_{2\varphi}$	6,75	7,5	1,1	1,14	4,2	3,2	2401	2822
В один слой $h\varphi=H$	13,5	15	-	-	3,8	2,8	2554	3035

влияние также и на производительность экскаваторов из-за уменьшения площади сечения забоя и создания сложных условий разработки [2]. В результате увеличивается доля времени экскаватора на передвижения по фронту работ и на выполнение вспомогательных операций и, следовательно, возрастает время загрузки автосамосвала. Изменения производительности экскаваторов в зависимости от мощности разрабатываемого слоя показано в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что на наклонных месторождениях при проходке разрезных траншей в несколько слоев (например, в три слоя) экскаваторами-мехлопатами ЭКГ-8и и ЭКГ-12,5, отмечается снижение на 10-11% их сменной производительности. Из-за перепростоя под погрузкой снижается также производительность автосамосвалов.

Таким образом, использование на нарезке нового горизонта и отработке наклонных (25-40°) пластов угля экскаваторов типа прямая лопата мало эффективно.

Избежать дополнительных потерь угля и снижения производительности горного и транспортного оборудования в данных условиях возможно только при применении таких выемочно-погрузочных машин, как кранлайны и гидравлические обратные лопаты. Эти экскаваторы могут осуществлять нарезку нового горизонта сразу на полную высоту, т.е. 15-16 м.

Кранлайн [3, 4] представляет собой драглайн шагающий погрузочный (ДШП). Этот экскаватор сочетает в себе преимущества мехлопаты (мягкая безударная и прицельная выгрузка горной массы из ковша в кузов автосамосвала) и драглайна (способность отрабатывать высокие уступы и проходить глубокие траншеи с нижним черпанием). От обычного драглайна кранлайн отличается наличием дополнительной лебедки для подъема и фиксации ковша перед разгрузкой. Предусмотрено также наличие двух типов ковшей. Один из них - ковш драглайна с разгрузкой опрокидыванием через режущую кромку и коробчатый ковш

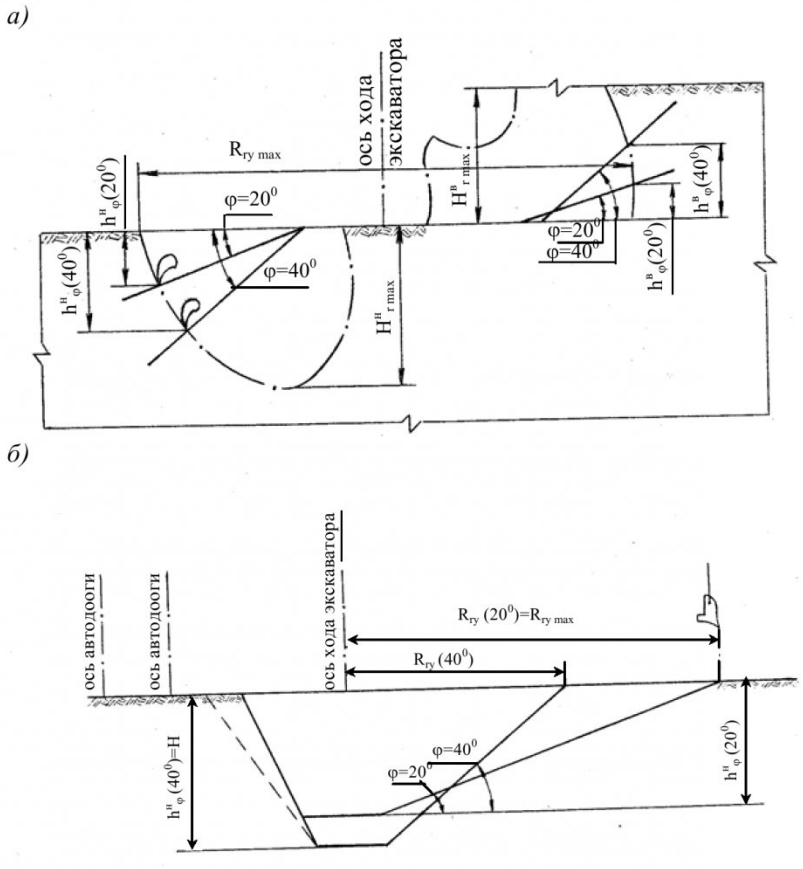


Рис.4. Схемы к обоснованию высоты уступа (глубины траншеи) - h_{φ} по условию полного прочерпывания контакта «уголь-порода»: а – кранлайн; б – гидравлическая обратная лопата

Таблица 4

Техническая характеристика базовых моделей кранлайнов, зарубежных и отечественных марок гидравлических обратных лопат

Наименование	Показатели по моделям и маркам					
	Кранлайны (ДШП)			Обратные лопаты		
	ДШП 6,5.34	ДШП 10.38	ДШП 15.43	«Demag» H-241	«Caterpillar -375»	ЭГО-8*
Вместимость ковша (Е), $м^3$	6,5	10	15	6,5-10	4	8
Глубина копания ($H^{н}_{ч\ max}$), м	20	24	29	8-14,5	6,9-7,4	10
Высота копания ($H^{в}_{ч\ max}$), м	-	-	-	13-17,2	12,5	11
Максимальный радиус черпания на горизонте установки ($R_{чу\ max}$), м	30,5	36,4	41,9	18-23	12,4	21
Радиус разгрузки ($R_р$), м	15,5	21	21	н.д.	н.д.	17
Высота выгрузки ковша ($H_р$),м	7,9	8	9	12-13	8,3	10
Радиус вращения хвостовой части кузова, м	9,7	15	15	н.д.	4,2	7,2
Диаметр базы, ширина гусеничного хода экскаватора, м	7,7	9,7	9,7	н.д.	3,5	6,5
Расчетное время рабочего цикла в породах III-IV категории при угле поворота на разгрузку 90^0, с	38	40	42	н.д.	28	28-30

*) Параметрический ряд отечественных гидравлических обратных лопат (ЭГО) приведены в альбоме «Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах», 1991 г. и в «Концепции развития открытого способа добычи угля в РФ до 2010 г.», 1995 [8].

с открывающейся задней стенкой. Кранлайны могут успешно применяться для производства как вскрышных, так и добычных работ.

Имея большие линейные параметры, этот экскаватор, располагаясь на верхней площадке траншеи и работая только с нижним черпанием, может проходить ее сразу на полную глубину, осуществляя при этом погрузку породы в автосамосвалы на уровне своего стояния (рис. 4).

В 70-х годах прошлого столетия широкое распространение на зарубежных карьерах получили гидравлические экскаваторы - прямая и обратная лопаты. Одноковшовые гидравлические экскаваторы имеют более высокие (по сравнению с мехлопатами) усилия копания, обладают большими возможностями для производства селективной выемки и могут производить зачистку подошвы забоя, заменяя бульдозер. В отличие от обычных экскаваторов - механических лопат, процесс черпания которых начинается у подошвы уступа, гидравлические экскаваторы, благодаря особой конструкции рабочего оборудования, обеспечивают копание с максимальным усилием на любой высоте внедрения ковша в породный забой. Гидравлические экскаваторы более компактны и имеют лучшие показатели производительности на единицу массы, чем мехлопаты.

Особый интерес для разработки сложно-структурных месторождений в целом и, в частности, для проходки разрезных траншей и отработки наклонных пластов угля представляет гидравлическая обратная лопата [2, 5-7].

Конструктивные особенности гидравлических обратных лопат позволяют им, размещаясь на промежуточном горизонте, проходить траншею (с использованием одновременно верхнего и нижнего черпания) сразу на полную глубину, а породу грузить в автосамосвалы на уровне, выше и ниже уровня стояния (рис.4.)

На открытых разработках за рубежом работают различные по мощности (с ковшами вместимостью от 2,2 до 16 $м^3$) гидравлические обратные лопаты фирм: «Demag», «Liebherr» и «Orenstein and Koppel» (Германия), «Koehring» и «Caterpillar» (США), «Hitachi» (Япония), «Poclain» (Франция) и др. Обратные лопаты «Caterpillar-375» появились в последние годы и на разрезах Кузбасса.

Техническая характеристика базовых моделей кранлайна и некоторых марок гидравлических обратных лопат приведена в табл. 4.

Эти экскаваторы (по сравнению с мехлопатами) благодаря своим конструктивным особенностям (наличию верхнего ($h^{в}$) и нижнего ($h^{н}$) черпания, больших линейных параметров – у кранлайнов и нижней погрузки – у обратных лопат) более соответствуют условиям разработки наклонных месторождений.

Однако их возможности по прочерпыванию и угольно-

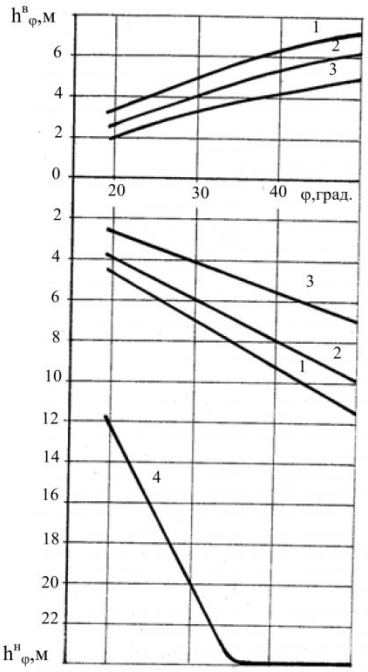


Рис. 5. Графики для определения параметров траншеи по глубине (h_φ) при проходке ее различными типами и марками экскаваторов (по условию полного прочерпывания угольно-породного контакта):1 – «Demag» H – 241; 2 – ЭГО-8; 3 - «Caterpillar-375» ; 4 – кранлайн - ДШП 10.38; φ - угол падения пластов, град.

породного контакта также различны и графически представлены на рис.5.

Из графиков рис.5 видно, что при проведении разрезных траншей на наклонных месторождениях кранлайны могут быть целесообразно использованы во всем диапазоне углов падения и особенно менее 30-35^0, а область эффективного применения обратных лопат – это месторождения с углами падения более 35^0.

Рассмотрим технологию и последовательность проведения работ при нарезке нового горизонта обратной лопатой ЭГО-8.

Проходку разрезной траншеи и обработку пласта угля экскаватор осуществляет за три прохода (рис.6).

Первоначально, располагаясь на верхней площадке, экскаватор ЭГО-8 с использованием нижнего черпания проходит траншею по породе на глубину h_1=8м. Погрузка породы в автосамосвалы БелАЗ-75491 (грузоподъемностью 75т) производится на горизонте установки экскаватора. При втором проходе экскаватор также с нижним черпанием на указанную выше глубину последовательно отрабатывает оставшуюся в кровле пласта часть вскрышных пород и непосредственно угольный пласт.

Автомобильная трасса при втором проходе экскаватора прокладывается у противоположного борта траншеи, т.е. со стороны почвы пласта. Загрузка автосамосвалов горной массой производится также на уровне стояния экскаватора. Третий проход экскаватор совершает, находясь на промежуточном горизонте. Обратная лопата с использованием нижнего черпания проходит траншею на глубину h_2=7м (недостающую до полной высоты нарезаемого горизонта, равной 15м). Вскрышные породы и уголь вынимаются раздельно и грузятся в автосамосвалы, которые устанавливаются ниже уровня стояния экскаватора, т.е. на дне разрезной траншеи (B=23м). При последнем - третьем проходе экскаватор ЭГО-8 работает с нижней погрузкой.

Параметры проходки разрезной траншеи определялись следующим образом:

$$h_1 = (0{,}8 \div 0{,}9) \cdot H^н_{ч\,max}, м;$$

$$h_2 = (0{,}7 \div 0{,}8) \cdot H^н_{ч\,max}, м;$$

$$B = (1{,}1 \div 1{,}3) \cdot R_{чу\,max}, м.$$

Несмотря на то, что при применении обратной лопаты ЭГО-8 проходка разрезной траншеи и отработка пласта ведется в два слоя (h_1=8м, h_2=7м), дополнительных потерь угля от зачистки рабочей площадки не образуется, т.к. на промежуточном горизонте нет транспортной полосы по вывозке угля и породы. Автомобильные трассы размещаются только на верхней площадке и на дне траншеи.

За счет лучшего использования во времени на основной работе - выемке и погрузке горной массы и меньшего цикла экскавации (например, при нижнем черпании и погрузке ниже уровня стояния) обратная лопата ЭГО-8 при проходке разрезной траншеи в два слоя имеет сменную производительность, равную 2847м^3, которая на 15-20% выше, чем мехлопаты с такой же вместимостью ковша ЭКГ-8и (табл. 3).

Кроме рассмотренного, возможны и другие варианты технологических схем нарезки нового горизонта с применением гидравлической обратной лопатой. В частности, обратная лопата, установленная сразу на промежуточном горизонте, может отрабатывать верхний слой траншеи с верхним черпанием и верхней погрузкой, а нижний - с нижним черпанием и погрузкой ниже уровня своего стояния. При этом для нарезки нового горизонта потребуется всего два прохода экскаватора.

Таким образом, для нарезки нового горизонта высотой H=15м и отработки наклонного пласта угля (в данном примере φ=35°) мехлопата ЭКГ-12,5 необходимо сделать 6 проходов, а обратной лопате ЭГО-8 - наполовину меньше. Кранлайну ДШП 10.38 вообще достаточно одного прохода (рис. 6). Это свидетельствует о том, что выемочно-погрузочные машины, обладающие верхним и нижним черпанием и погрузкой на уровне, выше и ниже уровня установки экскаватора более технологичны при проведении разрезных траншей и отработке наклонны пластов угля, лучше используются во времени на основной работе и позволяют нарезать новый горизонт сразу на полную высоту без дополнительных потерь угля.

Необходимо также отметить, что за счет работы с нижним черпанием и погрузки горной массы в автосамосвалы на уровне установки экскаватора сокращается расстояние транспортирования угля и породы, а проходка разрезной траншеи сразу на полную глубину спо-

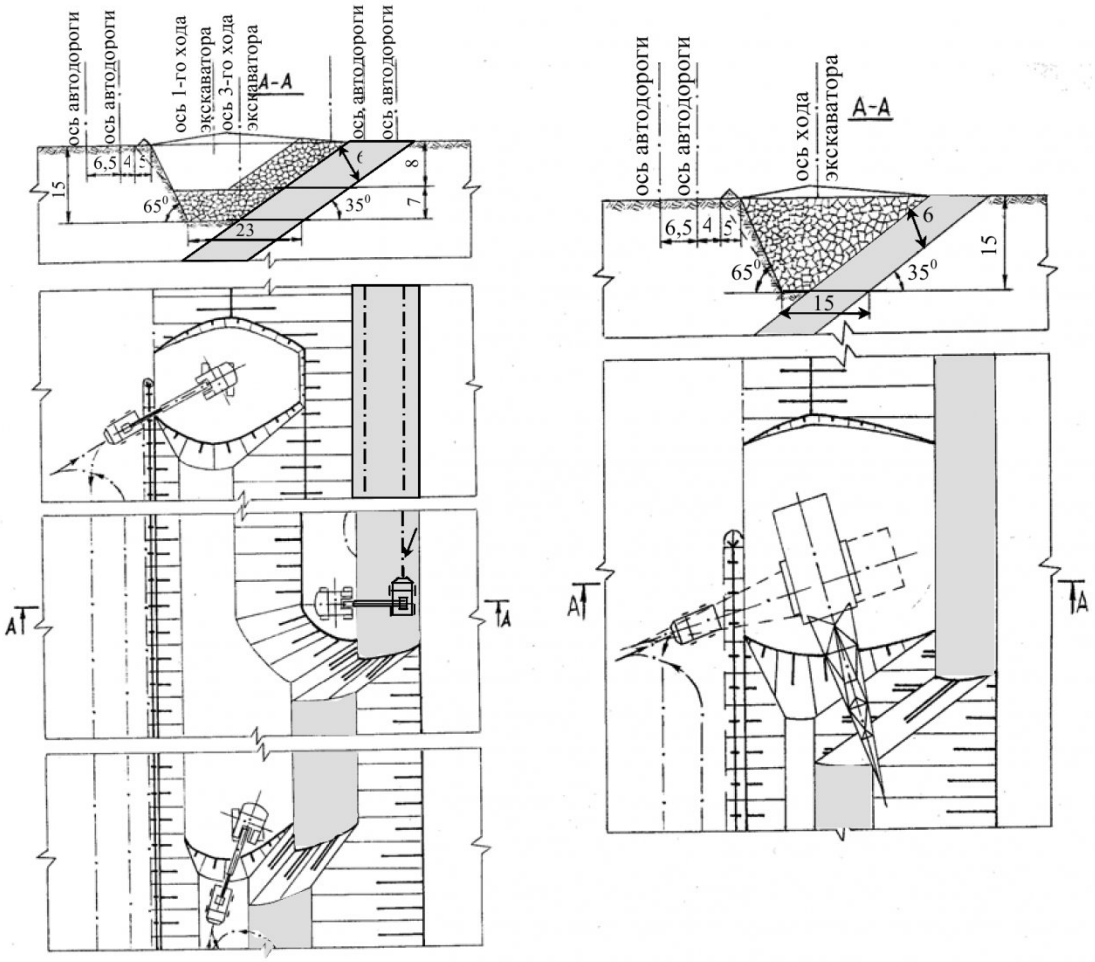


Рис.6. Технология проходки разрезной траншеи и отработки наклонного пласта угля экскаваторами: а) гидравлической обратной лопатой ЭГО-8;б) кранлайном ДШП 10.38.

собствует уменьшению протяженности, объему работ и, следовательно, затрат на строительство и содержание автодорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ненашев А.С., Ермолаев В.АА., Рыбаков Б.Н.* Снижение потерь угля на разрезах Кузбасса. ЦНИЭИ уголь. Обзор. Выпуск 5. М., 1981. 41с.

2. *Кузнецов В.И., Ермолаев В.А., Ташкинов А.С., Ненашев А.С.* Новые решения в технологии ведения горных работ на разрезах Кузбасса. Кемеровское книжное изд-во. Кемерово, 1994. 152с.

3. *Трубецкой К.Н., Киселев Н.Н., Домбровский А.Н. и др*. Кранлайн - новый вид шагающего драглайна. Горная промышленность № 3, 1999. С. 32-35.

4. *Домбровский А.Н., Сидоренко И.А., Сеинов Н.П., Котровский М.Н*. Технико-экономические преимущества применения кранлайнов для технического перевооружения карьеров. Горная промышленность № 2, 2000.С. 52-55.

5. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. -М.: Недра, 1982. 405с.

6. *Томаков П.И., Ненашев А.С., Рыбаков Б.Н.* Гидравлические обратные лопаты для разработки сложноструктурных месторождений Кузбасса. ЦНИЭИ уголь. Обзор. Выпуск 2. М., 1984. 50с.

7. *Степка Р*. Карьерные и строительные гидравлические экскаваторы серии BRAWAL. Горная промышленность № 3, 2001. С. 49-50.

8. Концепция развития открытого способа добычи угля в Российской Федерации до 2010 г. (аспекты научно-технического прогресса). – М.: ЦНИЭИ уголь, 1995. 135 с.

Авторы статьи:

Ненашев
Анатолий Сергеевич
- канд. техн. наук, доц. каф.
разработки месторождений
полезных ископаемых
открытым способом

Воронков
Владимир Федорович
- канд. техн. наук. доц. каф.
разработки месторождений
полезных ископаемых
открытым способом