

УДК 622. 271

М.Р. Штейнцайг

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ВЫСОТЫ УСТУПА
КАРЬЕРА ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ ПРИ УГЛУБОЧНО-
СПЛОШНЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Эффективность открытой угледобычи при освоении перспективных месторождений Кузбасса обеспечивается при углубочно-сплошных системах разработки. Техногенный потенциал выработанного пространства формируется строительством карьеров первой очереди. Разработана методология и установлены параметры схем геотехнологий, обобщаемые высотой уступа.

Ключевые слова: углубочно-сплошные системы открытой угледобычи, карьер первой очереди, высота уступа, эффективность инвестиций

**M.R. Shteyntsayg
A METHODOLOGY FOR
DETERMINATION THE HEIGHT OF
THE BANK OF THE FIRST-STAGE
OPEN-PIT MINE AT SINKING-ALL-
WORK MINING METHODS OF COAL
DEPOSIT'S DEVELOPMENT**

The effectiveness of the open pit mining at developing of the perspective coal deposits in Kuzbass can be improved by the use of "sinking- all-work" methods. The man-caused potential of the open area of the pit is generated by the means of construction of the first stage open-pit mine. The methodology and main technological parameters of the geotechnology, generalized by the height of the bank, have been developed.

Key words: sinking- all-work methods of open-pit coal mining works, the first stage open-pit mine, the height of the bank, return of investments.

Интенсификация открытого способа добычи угля, главным образом, за счет вновь осваиваемых месторождений этого минерального ископаемого в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, предопределена логикой реализуемых правительственных директив.

Учитывая качественные характеристики намечаемого к добыче сырья и степень инфраструктурного обеспечения приоритетных геолого-экономических районов, в планируемой перспективе наиболее высокие темпы прироста объемов открытой угледобычи следует ожидать в Кузнецком бассейне.

Здесь, как показывают результаты технико-экономического обоснования кондиций природной ресурсной базы, около 80% запасов минерального ископаемого, доступных открытому способу добычи, сосредоточены в месторождениях, представленных свитами наклонных и крутопадающих пластов с суммарной мощностью угольных залежей около 200 м, при экономически оправданной глубине создаваемой рабочей зоны до 400 м.

В таких характерных горно-геологических условиях, как следует из теории и практики открытой угледобычи [1;2], предпочтительными являются углубочно-сплошные системы разработки, предусматривающие активное использование техногенного ресурса выработанного пространства для

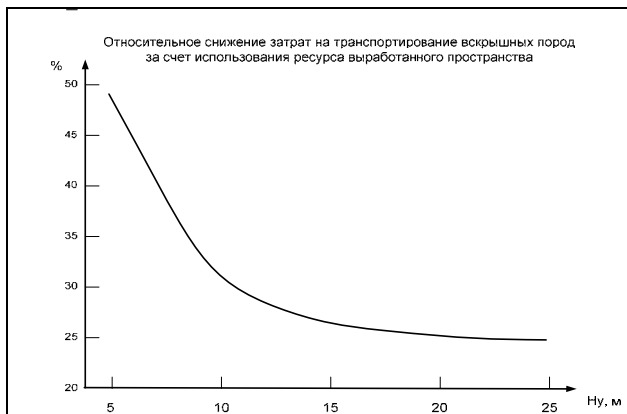


Рис. 1

размещения здесь не менее 75 % перерабатываемых вскрышных пород.

Прогрессивность концепции применения углубочно-сплошных систем разработки, в частности, иллюстрируется следующими результатами проведенных исследований влияния горно-технических факторов (глубина рабочей зоны $H_{р.з.}$, высота отработываемого уступа H_y , дальность L доставки вскрышных пород к местам их складирования) на затраты $Z_{тек}$, обуславливаемые технологической необходимостью перемещения перерабатываемой горной массы.

Известно [3;4], что энергоёмкость \mathcal{E} процессов транспортировки вскрышных пород определяется как:

- при внешнем отвалообразовании в ярусах высотой h_o :

$$\mathcal{E}_{внеш} = [H_{р.з.} \cdot L(1 + 1/\sin \alpha) + AH_y(2L_{ф} + L_o) + h_o L_o]g, \text{ Дж};$$

- при внутреннем отвалообразовании:

$$\mathcal{E}_{внут} = Ag[2H_{р.з.} + L_{ф} + L + 2(H_y + h_o)/\sin \alpha], \text{ Дж},$$

где $L_{ф}$, L - протяженность фронта горных работ вкрест и по простиранию угольной залежи, м; α - угол падения угольной залежи, град; A - ширина рабочей площадки, м; L_o - дальность транспортировки по отвальному яру-

су, м; g - ускорение свободного падения.

Полагая, что величина $Z_{тек}$ пропорциональна энергозатратам соответствующего процесса, несложно установить, что при реализации техногенного потенциала выработанного пространства представляется возможным примерно в 4,5 раза сократить ресурсоемкость транспортных операций. При этом степень влияния H_y на интенсивность снижения транс-

портных расходов при переходе на внутреннее отвалообразование оценивается уравнением связи $\Delta Z_{тек} = 0,456 * H_y^{-0,47}$, % (при корреляционном отношении $r = 0,9$).

Исследование этой зависимости показывает, что заметное сокращение транспортных затрат возможно при уменьшении H_y до 8-10 м. В тоже время, увеличение этого параметра более чем на 15 м практически не оказывает влияния на $Z_{тек}$ при углубочно-сплошных системах разработки (рис. 1).

В общем случае, принципы построения углубочно-сплошных схем геотехнологий, гарантирующие их технико-экономическую эффективность и социально-экологическую приемлемость, сводятся к следующему: ограничение глубины отработки на наименее угленасыщенном фланге (карьер первой очереди) при условии вовлечения в эксплуатацию основных запасов минерального ископаемого у противоположного фланга осваиваемого месторождения на полную расчетную глубину рабочей зоны; управление направлением, темпом углубки и скоростью продвижения фронта горных работ по простиранию угольной залежи с целью создания возможности

УГОЛЬНЫЕ РАЙОНЫ КУЗБАССА



Рис. 2

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ КУЗБАССА, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ

Месторождение	Наименование разреза	Мощность пласта (средняя), м	Угол падения пласта, град.	Кол-во пластов	Запасы угля по численным данным, тыс. т		Промышленные запасы по горной массе, тыс. т	Пром. коэфф. вскрытия, %	Общий объем вскрытия	
					балансовые	промысл.			всего, тыс. т	в т.ч. поносим., тыс. т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Действующие и перспективные разрезы										
Урожайское	"Беловский"	2,43-12,4	6-35	8	31752	28903	32133	7,86	252600	78100
	"Сарталин"	3,24-12,94	6-75	7	129434	120437	135126	7,1	963000	280500
Коркингское	"Задуровский"	1,45-11,96	8-11	3	23934	24498	26349	4,0	106100	37600
	"Коркингский"	3,14-21,78	5-18	4	50772	46727	30340	2,7	134530	18390
	"Первомайский"	3,44-11,16	13-15	3	3281	3153	3599	5,0	18100	3040
Пав.	"Виноградский"	4,4-14,87	20-33	3	2517	2326	2498	5,7	14390	4430
	"Коркингский-Южный"	2,44-13,0	0-15	4	32378	28047	29499	3,1	90930	42430
Пав.	"Коркингский-Южный"	2,44-13,0	0-15	5	108024	106170	132040	3,2	417087	102420
	"Дунайский"	2,71-17,24	5-45	19	н.д.	116700	н.д.	3,3	391600	н.д.
Северо-Талдинское	"Талдинский"	1,38-21,3	5-45	11	417921	390726	456133	5,17	2338350	155530
	"Талдинский-Северный"	4,2-16,9	10-30	9	163515	157961	175708	5,1	837940	95630
Ново-Каленское	"Ерунаковский"	2-15	2-8	9	66636	62300	70369	4,0	283000	60800
	"Ново-Каленский-Западный"	2,89-18,15	15-55	13	59504	55445	62804	4,7	295507	32887
Урожайское	"Ковалевский"	2,04-14,52	10-45	7	100739	93085	110291	4,89	59630	58710
	"Урожайское-1"	2,94-10,8	5-75	8	129241	120144	136738	7,5	1030180	196770
Коркингское	"Урожайское-3"	5,02-18,74	7-73	11	210796	193925	213820	4,73	1012000	150000
	"Угольный"	2,15-20,25	8-75	21	766788	734421	804733	5,4	4351400	196770
	"Коркингский-1-2"	3,14-21,78	5-75	11	646139	611834	676834	5,9	3999000	226000
	"Коркингский-Восточный"	2,2-20,3	10-77	28	н.д.	635,5	н.д.	5,1	3337300	н.д.
Ново-Каленское	"Коркингский-Южный-2"	1,64-14,8	2-5	5	224300	191980	253910	2,7	693700	102500
	"Верхнекаленинский"	2,3-24,53	15-60	6	66645	62000	74780	7,1	532570	75680
	"Николаевский"	4,0-16,0	27-73	6	32320	30730	33010	5,1	169730	21490
	"Листовский"	2,08-24	14,0	6	25180	23680	26860	5,0	134130	33330
	Западно-Уральский разрез	4,0-16,0	41,0-71,0	20	171900	163930	183410	4,6	838130	83260
Ново-Каленское	"Ново-Каленский-1"	2,0-18,7	15-55	11	60624	56210	64041	7,8	498300	11300
	"Ново-Каленский-2"	2,0-18,7	15-55	11	214979	207778	227036	6,8	1544700	81000

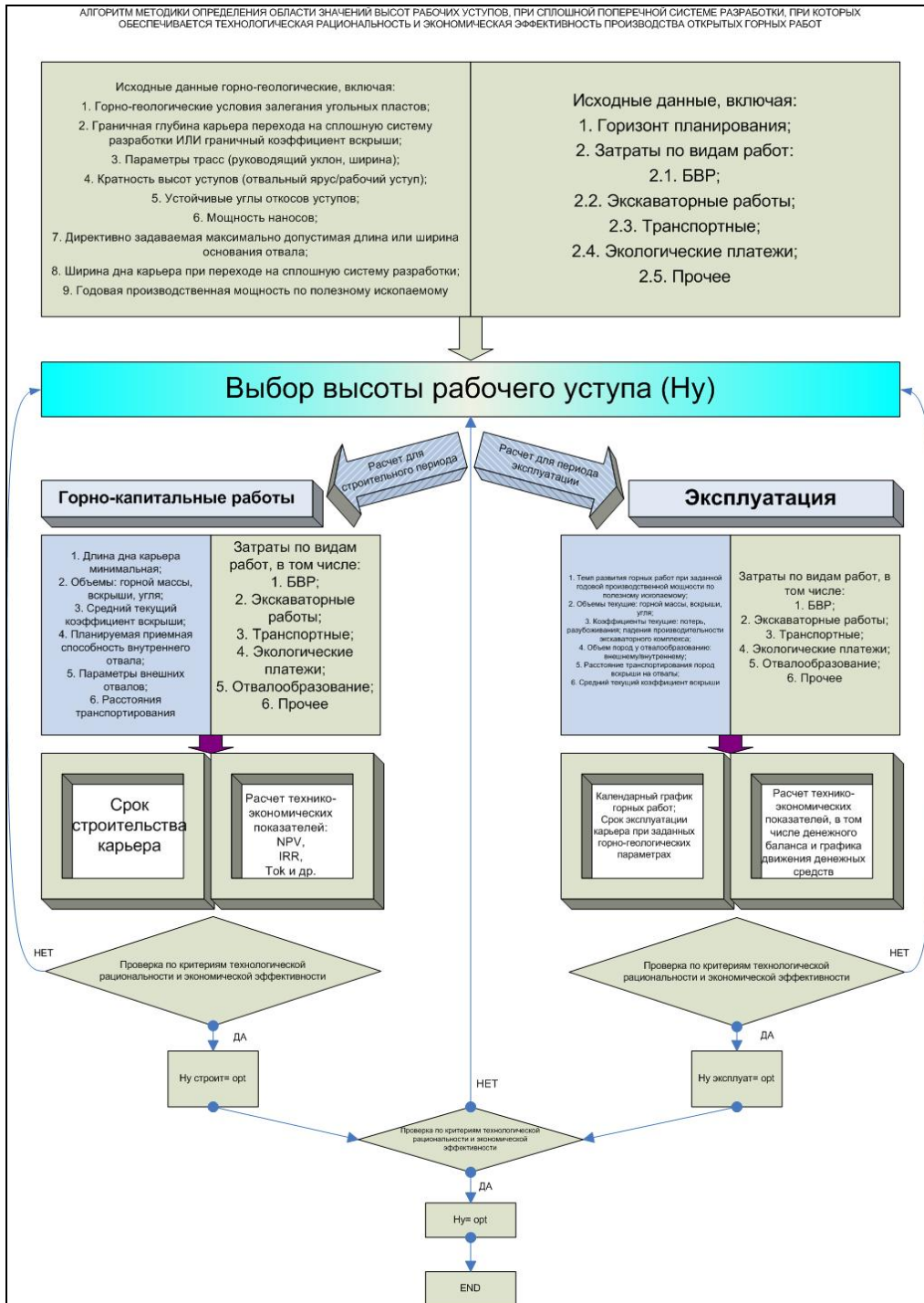


Рис. 3

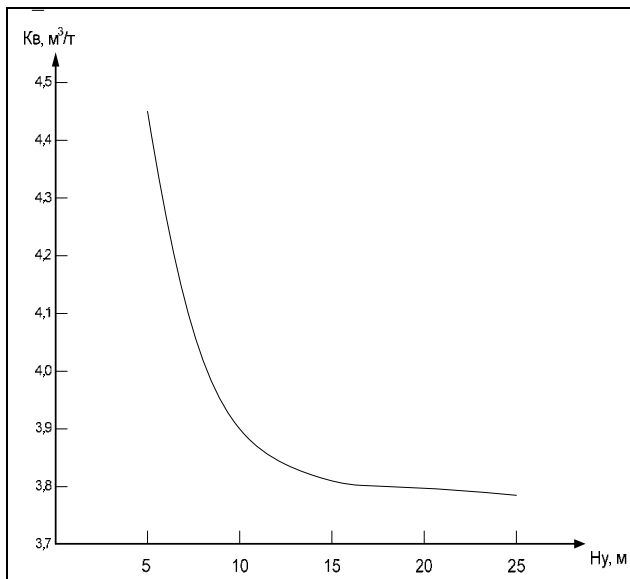


Рис. 4

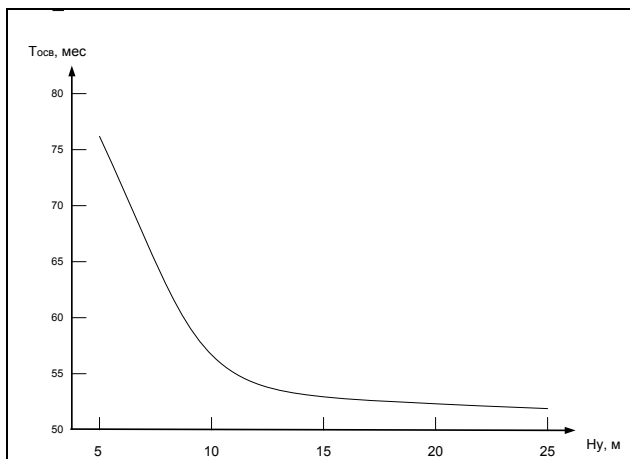


Рис. 5

В характерных горно-геологических условиях угольных месторождений Кузбасса (рис. 2) рациональная глубина карьера первой очереди оценивается в 70-120 м [5], что обеспечивает технико-экономическую эффективность углубочно-сплошных систем разработок как на этапе строительства добывающего пред-

приятия, так и при обработке запасов минерального ископаемого в период эксплуатации осваиваемых месторождений.

В конкретной горно-геологической обстановке достижение задаваемых результирующих показателей эффективности осваиваемых инвестиционных ресурсов обеспечивается управлением линейными параметрами элементов системы разработки, обобщаемыми высотой уступа карьера первой очереди (в соответствии с теоретическими основами открытых горных разработок, априори принимается равенство высот рабочих уступов на этапах строительства и эксплуатации угледобывающего предприятия).

Алгоритм разработанной методики обоснования этого технологического параметра карьера первой очереди представлен на рис. 3. Критериями целесообразности рекомендуемых к реализации технико-технологических решений на базе обосновываемой высоты рабочего уступа карьера первой очереди являются оценки дисконтированной доходности

(NPV) и внутренней нормы дохода (IRR), основанные на принципах Г. Хоскольда, а также такие показатели эффективности инвестиций как минимальные сроки вовлечения в обработку возможно больших объемов минерального ископаемого.

Результаты графо-аналитического анализа влияния высоты уступа на

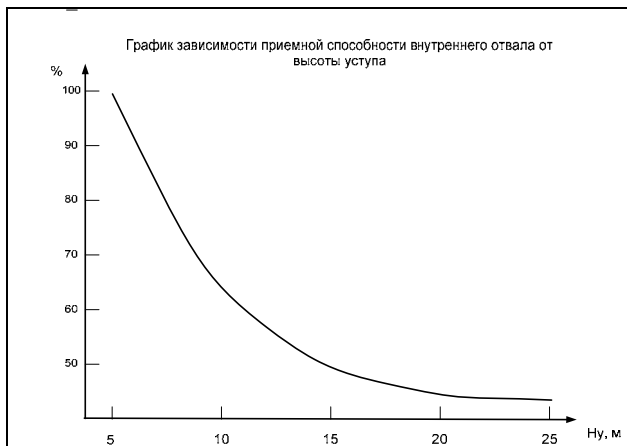


Рис. 6

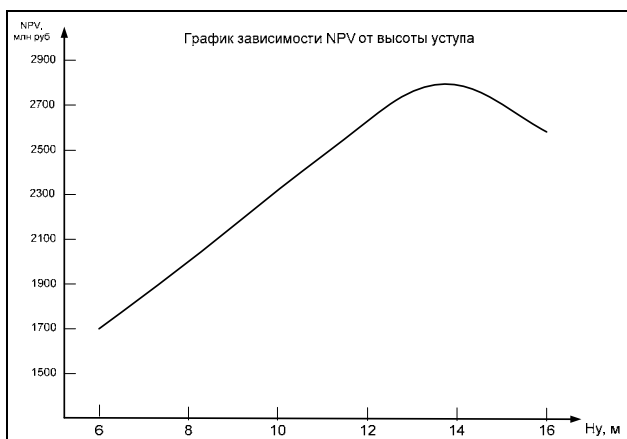


Рис. 7

средние значения коэффициента вскрыши, позволяют установить соответствующую зависимость $K_{вск} = 21,1H_y^{-0,65}$, м³/т (при $r=0,83$). Исследование этой зависимости (рис. 4) методом конечных приращений дает возможность оценить область рациональных значений $H_y \geq 10$ м, при которых практически неощутимо влияние H_y на величину $K_{вск}$.

Проведенными исследованиями было установлено, что сокращение периода подготовки угледобывающего предприятия к эксплуатации (рис.

5) с задаваемой производственной нагрузкой обеспечивается увеличением высоты уступа карьера первой очереди $T_{осв} = 256,9H_y^{-0,6}$, лет (при $r=0,84$).

Однако, при этом заметно сокращается приемная способность создаваемого выработанного пространства (рис. 6):

$$Q_o = 73,7H_y^{-1,04}, \text{ млн. м}^3 \text{ (при } r=0,87\text{)}.$$

Очевидно, что выбор высоты уступа карьера первой очереди оказывает влияние не только на темпы вовлечения в хозяйственный оборот природной ресурсной базы и параметры формируемой рабочей зоны угледобывающего предприятия, но и на результирующие производственно-экономические его показатели, которые в обобщенном виде интерпретируются величиной удельных приведенных затрат $C_{пр} = EK + S$, руб/т (где E - нормируемая рентабельность горного производства; K и S - соответственно, удельные капитальные

затраты и текущие эксплуатационные издержки по процессам открытой угледобычи, руб/т). Поскольку высота уступа определяет массогабаритные (а, следовательно, - стоимостные) характеристики применяемой выемочно-погрузочной и сопряжено-эксплуатируемой горно-транспортной и вспомогательной техники, для задаваемой мощности угледобывающего предприятия представляется возможным установить взаимосвязь между величиной удельных приведенных эксплуатационных затрат и высо-

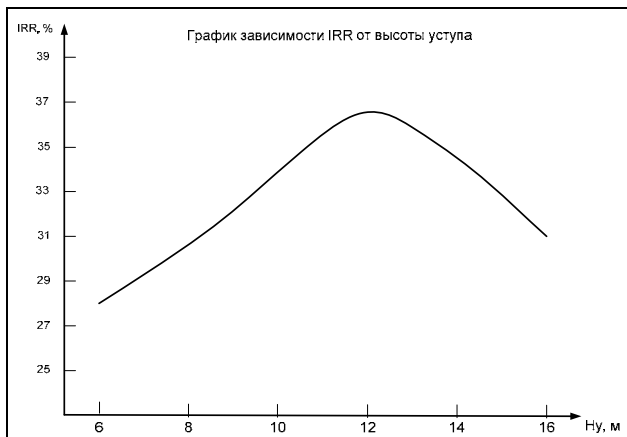


Рис. 8

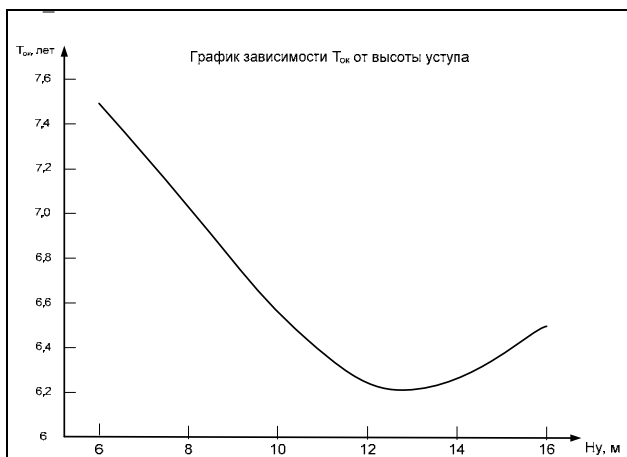


Рис. 9

той рабочих уступов. Так, применительно к упоминаемым выше характерным горно-геологическим условиям вновь осваиваемых месторождений Кузбасса при задаваемой мощности угольного разреза порядка 2,5 млн тонн в год, уравнения связи исследуемых параметров на этапах строительства и эксплуатации угледобывающего предприятия имеют вид:

$$C_{\text{пр стр}} = -0,028H_y^3 + 1,455H_y^2 - 25,08H_y + 48,2, \text{ руб/т (при } r=0,87);$$

$$C_{\text{пр эксп}} = 11,41 \ln H_y + 29,4, \text{ руб/т (при } r=0,85)$$

При этом взаимосвязь массо-габаритных показателей выемочно-погрузочной техники и высоты обрабатываемых уступов (при соблюдении безопасных условий эксплуатации с задаваемой интенсивностью соразмерной емкости ковша экскаватора q) определяется установленными уравнениями регрессии для механических лопат (ЭКГ) и гидрофицированных экскаваторов (ЭГ):

$$G_{\text{ЭКГ}} = 34,03H_y + 16,79q - 244,7, \text{ т}$$

(при коэффициенте множественной корреляции $R=0,83$);

$$G_{\text{ЭГ}} = 16,66H_y + 20,11q - 116,8, \text{ т}$$

(при коэффициенте множественной корреляции $R=0,85$)

Условно стоимость 1 т рабочей массы того, либо иного вида карьерных экскаваторов, понимаемая как некий интегральный показатель складывающейся рыночной цены на комплектующие механо-металлоизделия и силовое электро-, гидрооборудование, определяется соответствующими маркетинговыми исследованиями.

Установленные взаимосвязи $C_{\text{пр } i} = f(H_y)$ весьма эффективно могут быть использованы на стадии принятия концептуальных технико-технологических решений и выявления области поиска оптимальных значений H_y для конкретной горно-геологической обстановки намечаемого к освоению угольного месторождения.

В своей совокупности результаты проведенных исследований по уста-

новлению взаимосвязи высоты уступа карьера первой очереди с результирующими технико-экономическими и социально-экологическими показателями при углубочно-сплошных системах разработки угольных месторождений в характерных горно-геологических условиях Кузбасса позволяют рекомендовать к использованию на этапе предпроектных проработок следующие зависимости, характеризующие эффективность освоения заданных инвестиционных ресурсов и период их окупаемости ($T_{ок}$):

$$NPV = -0,171H_y^4 + 5,144H_y^3 - 49,028H_y^2 + 266,41H_y + 1048,6, \text{ млн. руб}$$

(при $r=0,83$);

$$IRR = -0,001H_y^4 + 0,024H_y^3 - 0,149H_y^2 + 1,274H_y + 21,916, \%$$

$$T_{ок} = 0,002H_y^3 - 0,047H_y^2 + 0,155H_y + 7,791, \text{ лет}$$

Графическая интерпретация установленных взаимосвязей представлена на рис. 7, 8, 9, соответственно.

Разработанная методика выбора рациональной высоты уступа карьера первой очереди апробирована практикой проектирования разреза «Инской-2» на Черемшанском угольном месторождении Кузбасса, где в отработку вовлекаются пять сближенных наклонных пластов суммарной мощностью 80м. Здесь фактически обеспечиваемые основные производственно-экономические показатели с достаточной для инженерных расчетов точностью (коэффициент вариации не более 35%) корреспондируются с расчетными данными: при расчетной мощности предприятия в 2,5 млн т в год рекомендуемая высота уступа карьера первой очереди составляет 12 м, что позволяет примерно на 8 % повысить производственную нагрузку на пусковой комплекс предприятия и почти на 10% сократить при этом текущие эксплуатационные издержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томаков П.И., Коваленко В.С. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса. Уголь №1 1992.
2. Коваленко В.С. Методологические основы обоснования местоположения отвалов вскрышных пород с учетом оценки природной среды и природных ресурсов - в сб. научн. тр. «Комплексное освоение месторождений твердых полезных ископаемых». - М.: Недра, 1991, №1.
3. «Мировая Горная Промышленность 2004-2005: история, достижения, перспективы», под ред. Шадова М.И. - М.: НТЦ «Горное дело», 2005.
4. Реентович Э.И. «Экономическое обоснование параметров карьеров», М., 1952.
5. Таланин В.В. Обоснование параметров и технологии строительства карьера первой очереди при углубочно-сплошных поперечных системах разработки. Автореф. канд. дис. - М.: МГУ, 2006.
6. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Учебник для вузов. Ч. 2 Технология и комплексная механизация- 4е изд. - М.: Недра, 1985.
7. Мельников Н.В. «Краткий справочник по открытым горным работам». - М.: Недра, 1982. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Штейнцайг М.Р. – аспирант, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru