

УДК 622.271.4

Б.Р. Ракишев, А.У. Кожантов, А.Е. Куттыбаев

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ВАЖНЕЙШИМИ
ПАРАМЕТРАМИ И ПОКАЗАТЕЛЯМИ СИСТЕМЫ
ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

Семинар № 12

Основные понятия, образующие понятие «система открытой разработки полезных ископаемых»:

Система (от греческого systema – целое, составленное из частей; соединение) – множество (совокупность) элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Разработка полезных ископаемых – это извлечение горных пород (полезно-го ископаемого, включая нефть, газ, воды) из недр Земли различными способами (открытым, подземным, скважинным, подводным и комбинированным) после вскрытия месторождения. При открытом способе упомянутое осуществляется проведением разрезных траншей (котлованов) из уже пройденных капитальных выработок и выемкой полезного ископаемого, включая вскрышные породы, из подготовительных, вскрышных и добычных выработок [1, 2].

Открытая разработка полезных ископаемых – это извлечение горных пород из недр Земли некоторой заданной совокупностью подготовительных, вскрышных и добычных выработок, проведенных в карьерном поле.

Из приведенных понятий вытекает следующее искомое определение.

Система открытой разработки полезных ископаемых – это совокупность взаимозависимых и взаимосвязанных между собой подготовительных, вскрышных и добычных выработок в карьерном поле,

предназначенных для извлечения горных пород из недр Земли [2].

Для такой системы, как и для любой системы в общепринятом смысле, присущи организация, структура, связи и функции.

Организация выражает комплекс свойств, характеризующих определенную упорядоченность элементов в системе и их взаимодействие. Например, подготовительные, вскрышные и добычные выработки размещаются по определенным нормативам и должны обеспечивать нормальное функционирование системы. Любой организации присуща иерархия уровней. В рассматриваемом случае система – эта «система разработки полезных ископаемых», а ее элементы: разрезные траншеи (котлованы) и рабочие уступы.

Структура предусматривает конструкцию совокупности элементов и способы их объединения в единое целое. В системе разработки полезных ископаемых в таком качестве выступают рабочие площадки. На всех рабочих уступах их размеры должны быть не меньше некоторого их минимального значения, установленного нормативами.

Под связью в широком смысле понимается то, что объединяет отдельные элементы в систему. Связи многообразны по своим формам, значению, содержанию. В нашем случае отдельные элементы (рабочие уступы) в систему разработки полезных ископаемых объединяет вещественная связь, т.е. объем горной массы задан-

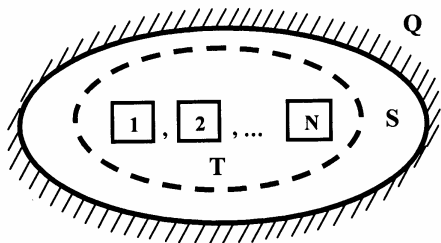
ного качества, извлекаемый из каждого рабочего горизонта (уступа). Эта связь является гибкой и изменяющейся в процессе функционирования системы.

Всякая система выполняет некоторые функции – просто существует, служит областью обитания другой системы, обслуживает систему более высокого уровня и т.д. Система разработки полезных ископаемых призвана обеспечить устойчивое извлечение горных пород заданного объема и требуемого качества из недр Земли. Она обслуживает систему более высокого уровня «эксплуатация месторождения полезных ископаемых» и служит областью обитания другой системы «технология добычных и вскрышных работ».

Система разработки полезных ископаемых, как любая система может быть представлена структурной моделью, которая отображает только строение и устройство системы. Структурная модель системы разработки представлена на рис. 1. Здесь элементы (рабочие уступы) 1, 2, ..., N образуют систему разработки S, входящую как составная часть в окружающую среду (карьерное поле) Q. В системе S обитает другая система T «технология горных работ».

Таким образом, в предлагаемой формулировке системы открытой разработки полезных ископаемых полностью раскрывается суть изучаемого понятия открытых горных работ, соблюдаются все основные системные принципы: целостности, иерархичности, структурности, взаимозависимости системы и среды.

Система разработки характеризуется ее элементами, параметрами и показателями.



Элементы системы представлены разрезной траншеей (котлованом), рабочими уступами с их рабочими площадками. В процессе развития горных работ разрезная траншея (котлован) вырождается в рабочий уступ. Остальные элементы в совокупности образуют рабочую зону карьера. В дальнейшем она в единственном лице представляет систему разработки в динамике [3].

Основными параметрами элементов системы разработки являются: высота уступа, ширина разрезной траншеи (размеры котлована), углы откосов рабочих уступов, ширина рабочей площадки, длина экскаваторного блока, длина фронта добычных и вскрышных работ на уступе, число рабочих уступов, высота и ширина рабочей зоны, угол откоса рабочего борта карьера, длина фронта работ по видам в рабочей зоне.

Основные показатели системы разработки: объем пород в рабочей зоне, объемы вскрытых и готовых к выемке запасов; скорость продвижения забоев, скорость перемещения уступов в горизонтальной плоскости, скорость углубления горных выработок; дополнительные показатели: производительность карьера с единицы длины рудного, породного фронта работ, с единицы площади рабочей зоны, эксплуатационные потери и разубоживание руды.

Рассмотрим влияние наиболее важных параметров системы - высоты рабочего уступа h , ширины рабочей площадки $B_{рп}$ и длины экскаваторного блока $L_б$ на некоторые показатели системы разработки - скорость перемещения панели уступа, скорость перемещения рабочего уступа в горизонтальной плоскости, скорость перемещения горных выработок в глубину. Указанные кинематические характеристики установлены нами теоретически на основе взаимоувязывания объема извлекаемой горной массы $V = ABC$ из карьерно-

Рис. 1. Структурная модель системы «открытая разработка полезных ископаемых»

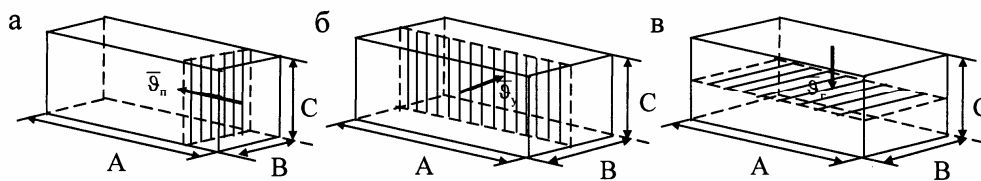


Рис. 2. Схемы к определению скоростей перемещения горных выработок

го поля со временем его отработки t (см. рис. 2) [4].

Для скорости подвигания забоя $\mathcal{G}_n = A/t$ за время t (обычно сутки, месяц) выведена следующая зависимость:

$$\mathcal{G}_n = Q_a / S_{ny}, \quad (1)$$

где $Q_a = V/t$ - производительность выемочно-погрузочного оборудования на выемке пород из панели уступа за то же время; $S_{ny} = BC$ - площадь поперечного сечения панели уступа (заходки); $B = B_3$ - ширина панели (заходки); $C = h$ - высота уступа.

Для скорости перемещения рабочего уступа в горизонтальной плоскости $\mathcal{G}_y = B/t$ за время t (обычно месяц, год) получена формула:

$$\mathcal{G}_y = Q_6 / S_{6y}, \quad (2)$$

где $Q_6 = V/t$ - производительность выемочно-погрузочного оборудования на выемке части уступа, шириной $B = nB_3$ (n - число отработанных панелей) за то же время; $S_{6y} = AC$ - площадь продольного вертикального сечения панели уступа; $A = L_\phi$ - длина фронта горных работ на уступе; $C = h$ - высота уступа.

Для скорости углубления горных выработок $\mathcal{G}_z = C/t$ за время t (обычно год) установлена зависимость:

$$\mathcal{G}_z = Q_c / S_{zc}, \quad (3)$$

где $Q_c = V/t$ - производительность выемочно-погрузочного оборудования на отработке требуемого объема пород текущего нижнего уступа для создания условий по вскрытию очередного нижнего горизонта за то же время; $S_{zc} = AB$ - площадь срединного горизонтального сечения обрабатываемого объема уступа; $A = L_\phi$ - длина фронта работ на уступе; $B = B_{cp}$ - ширина срединного горизонтального сечения обрабатываемого объема уступа.

Минимальная величина площади S_{zc}^{\min} , соответствующая возможной максимальной скорости углубления горных выработок, различна для разных подсистем разработки. При однобортовой подсистеме разработки (рис. 3, а):

$$S_{zc}^{\min} \geq [\epsilon_m + \epsilon_{pm} + B_{pm} + 1, 5h(ctg\alpha' + ctg\alpha)] L_\phi, \quad (4)$$

при двухбортовой подсистеме разработки (рис. 3, б):

$$S_{zc}^{\min} \geq (\epsilon_{pm} + 2B_{pm} + 3hctg\alpha) L_\phi. \quad (5)$$

Здесь ϵ_m - ширина транспортной (предохранительной) бермы на текущем нижнем уступе; ϵ_{pm} - ширина разрезной траншеи на вскрываемом горизонте; B_{pm} - ширина рабочей площадки на текущем нижнем уступе; α', α - угол откоса соответственно нерабочего и рабочего уступов.

Как видно из формул (1), (2), скорость подвигания забоя, скорость перемещения рабочего уступа в горизонтальной плоскости при прочих равных условиях обратно пропорциональны высоте уступа.

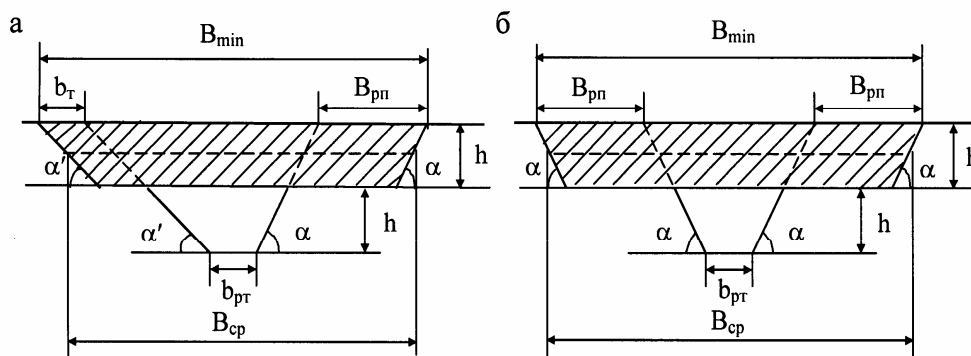


Рис. 3. Схема к определению минимальных значений S_{sc}

Так, при производительности выемочно-погрузочного оборудования 80 000 м³/месяц скорости подвигания забоя на 10 и 20 метровых уступах соответственно составляют 571,4 и 285,7 м/месяц, а скорости перемещения рабочего уступа в горизонтальной плоскости соответственно составляют 22,8 и 11,4 м/месяц (см. табл. 1).

Что касается влияния высоты уступа на скорость углубления горных выработок, то оно не существенное. Как показывают данные табл. 1, при работе ЭКГ-8И с производительностью 800 000 м³/год на 10 м уступе с длиной фронта 600 м максимальная скорость углубки горных работ составляет 12,1 м/год, а 20 м уступе 10,8 м/год. При работе ЭКГ-12,5 с производительностью 1 100 000 м³/год на блоке длиной 800 м указанные скорости на 15 и 20 м уступах соответственно достигают величин 10,8 и 10,3 м/год, т.е. изменяются незначительно.

Эти результаты наглядно изображены на графиках зависимостей скоростей от высоты уступа (рис. 4). Для соблюдения сопоставимости на графиках исследуемые показатели представлены при одной и той же производительности экскаватора (для ЭКГ-5А $Q_M = 55\ 000$ м³/месяц, $Q_T = 650\ 000$ м³/год, для ЭКГ-8И $Q_M = 68\ 000$ м³/месяц, $Q_T = 800\ 000$ м³/год, для ЭКГ-12,5 $Q_M =$

96 000 м³/месяц, $Q_T = 1\ 100\ 000$ м³/год). Почти прямые (сплошные) линии, характеризующие изменение скоростей углубления горных работ в зависимости от высоты уступа, указывают на отсутствие явной связи между ними. Причем характер закономерностей изменения скоростей для всех экскаваторов при различной длине блока одинаков.

Этот вывод опровергает распространенное мнение о том, что темп углубления горных работ возрастает при уменьшении высоты уступа.

Для установления влияния ширины рабочей площадки на показатели системы разработки рассмотрим выражения (2) и (3). Из них видно, что ширина рабочей площадки влияет только на скорость углубления горных выработок.

Причем в формулу (3) для вычисления ширины срединного горизонтального сечения текущего нижнего горизонта входят также ширина транспортной (предохранительной) бермы, высота уступа, углы откосов рабочего и нерабочего уступа. Однако доля этих составляющих в ширине горизонтального сечения текущего нижнего уступа значительно меньше вклада ширины рабочей площадки в эту величину.

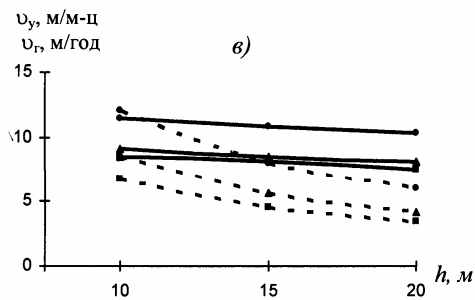
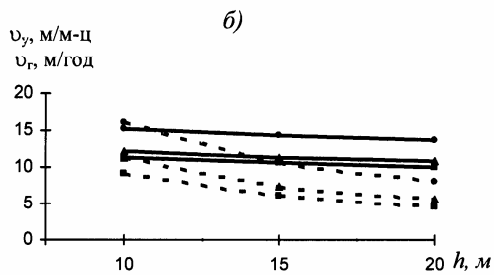
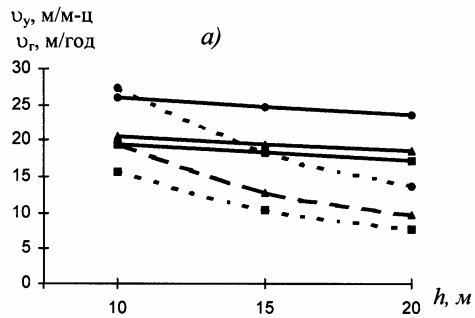


Рис. 4. Скорости v_y (пунктирные), v_r (сплошные линии) в зависимости от высоты уступа при длине фронта работ 350 м (а), 600 м (б) и 800 м (в): при работе ЭКГ-5А (●), ЭКГ-8И (▲), ЭКГ-12,5 (◐).

Численные значения изучаемого показателя при различных параметрах системы разработки и производительности выемочно-погрузочного оборудования приведены в табл. 2. При расчетах среднее значение $V_{ср}$ при использовании ЭКГ-5А на 10, 15 и 20 м уступах изменялось в пределах 90-170 м, при работе ЭКГ-8И – 110-180 м и при использова-

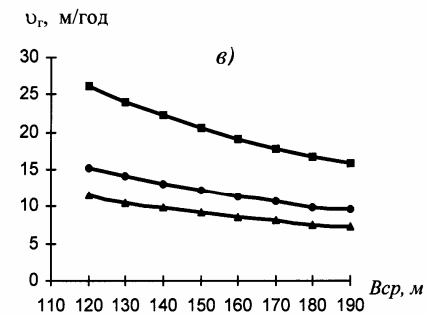
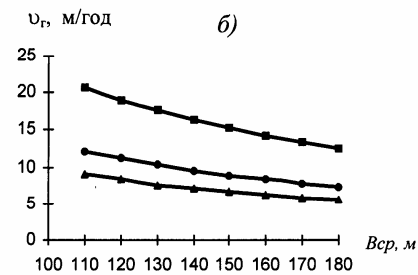
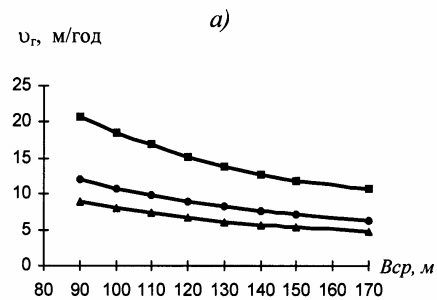


Рис. 5. Скорости углубления горных выработок в зависимости от ширины рабочей площадки при работе экскаватора ЭКГ-5А (а), ЭКГ-8И (б), ЭКГ-12,5(в): при длине фронта работ 350 м (●), 600 м (◐), 800 м (▲).

нии ЭКГ-12,5 – 120-190 м. Скорости углубления горных выработок при различных значениях $V_{ср}$, следовательно ширины рабочей площадки, и длины блока изменялись в широких пределах, что нашло отражение в табл. 2. Данные табл. 2 графически изображены на рис. 5. Ввиду одинакового характера

Таблица 2

Скорости углубления горных работ в зависимости от ширины срединного горизонтального сечения текущего нижнего горизонта

Экскаваторы	L _ф , м	h, м	V _{ср} , м					Q _г , м/год				
			90	100	110	120	130	20,6	18,5	16,8	15,2	14,2
ЭКГ-5А	350	10	90	100	110	120	130	20,6	18,5	16,8	15,2	14,2
		15	100	110	120	130	140	18,5	16,8	15,2	14,2	13,2
		20	100	115	130	150	170	18,5	16,4	14,2	12,3	10,9
	500	10	90	100	110	120	130	14,4	13,0	11,8	10,8	10,0
		15	100	110	120	130	140	13,0	11,8	10,8	10,0	9,3
		20	100	115	130	150	170	13,0	11,3	10,0	8,6	7,6
	600	10	90	100	110	120	130	12,0	10,8	9,8	9,0	8,3
		15	100	110	120	130	140	10,8	9,8	9,0	8,3	7,7
		20	100	115	130	150	170	10,8	9,4	8,3	7,2	6,4
	800	10	90	100	110	120	130	9,0	8,1	7,4	6,8	6,2
		15	100	110	120	130	140	8,1	7,4	6,8	6,2	5,8
		20	100	115	130	150	170	8,1	7,1	6,2	5,4	4,8
ЭКГ-8И	350	10	110	125	140	155	170	20,7	18,3	16,3	14,7	13,4
		15	115	130	145	160	175	19,9	17,6	15,7	14,3	13,0
		20	120	135	150	165	180	19,0	16,9	15,2	13,8	12,2
	500	10	110	125	140	155	170	14,5	12,8	11,4	10,3	9,4
		15	115	130	145	160	175	13,9	12,3	11,0	10,0	9,1
		20	120	135	150	165	180	13,3	11,8	10,7	9,7	8,8
	600	10	110	125	140	155	170	12,1	10,7	9,5	8,6	7,8
		15	115	130	145	160	175	11,6	10,2	9,2	8,3	7,6
		20	120	135	150	165	180	11,1	9,9	8,8	8,1	7,4
	800	10	110	125	140	155	170	9,1	8,0	7,1	6,4	5,9
		15	115	130	145	160	175	8,6	7,6	6,8	6,2	5,7
		20	120	135	150	165	180	8,3	7,4	6,6	6,1	5,5
ЭКГ-12,5	350	10	120	135	150	165	180	26,2	23,2	20,9	19,0	17,4
		15	125	140	155	170	185	25,1	22,4	20,2	18,4	16,9
		20	130	145	160	175	190	24,1	21,6	19,6	17,9	16,5
	500	10	120	135	150	165	180	18,3	16,3	14,6	13,3	12,2
		15	125	140	155	170	185	17,6	15,7	14,2	12,9	11,8
		20	130	145	160	175	190	16,9	15,2	13,8	12,5	11,6
	600	10	120	135	150	165	180	15,2	13,5	12,2	11,1	9,9
		15	125	140	155	170	185	14,6	13,1	11,8	10,7	9,9
		20	130	145	160	175	190	14,1	12,6	11,4	10,4	9,6
	800	10	120	135	150	165	180	11,4	10,2	9,2	8,3	7,6
		15	125	140	155	170	185	11,0	9,8	8,8	8,1	7,4
		20	130	145	160	175	190	10,5	9,4	8,5	7,8	7,2

Примечание: принятая производительность экскаватора ЭКГ-5А - 650 000 м³/год, ЭКГ-8И - 800 000 м³/год, ЭКГ-12,5 - 1 100 000 м³/год.

зависимостей таковые для экскаваторного блока длиной 500 м опущены.

Анализ графиков изменения скоростей углубления горных выработок от ширины рабочей площадки показывают, что между ними существует обратно пропорциональная зависимость. Причем эта закономерность соблюдается на всех высотах уступов при работе экскаваторов различной марки в блоках одинаковой длины. Например, при работе ЭКГ-5А на 10, 15, 20 м уступах скорость углубления горных работ при $V_{cp} = 100$ м в блоках длиной 350 м составляет 16,8 м/год, в блоках длиной 500 м - 13,0 м/год. При использовании ЭКГ-8И при $V_{cp} = 125$ м в блоках длиной 600 м $v_r = 9,52$ м/год, в блоках длиной 800 м $v_r = 8,0$ м/год.

С увеличением длины экскаваторного блока при прочих равных условиях уменьшается скорость углубления горных выработок. Последняя находится в прямо пропорциональной зависимости от производительности выемочно-погрузочного оборудования.

Приведенные в статье теоретические результаты достаточно близко совпадают с данными практики ряда горных предприятий Казахстана с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Это, свою очередь, подтверждает возможность использования выражений (1), (2) и (3) для прогнозирования и управления важнейшими показателями системы открытой разработки полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шевяков Л.Д.* Разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Углетехиздат, 1953, 756 с.

2. *Ракишев Б.Р.* Системы и технологии открытой разработки. Алматы: НИЦ «Фылым», 2003. – 328с.

3. *Ракишев Б.Р.* О системах и технологиях от-

крытой разработки полезных ископаемых. ГИАБ, №11, М., 2002, С. 184-187.

4. *Ракишев Б.Р.* Теоретическое обоснование показателей систем открытой разработки. ГИАБ, №9, М., 2003, С. 92-94

Коротко об авторах

Ракишев Б.Р. - академик НАН РК, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой открытых горных работ,

Кожантов А.У. – аспирант, КазНТУ им. К.И.Сатпаева.

Куттыбаев А.Е. – аспирант, КазНТУ им. К.И.Сатпаева.

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева.

