

УДК 622.271.3

К ТЕОРИИ СИСТЕМ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. Д. Золотарев

При проектировании и планировании работы карьеров в основу расчета параметров систем разработки обычно закладывают годовые границы добычи, которые, естественно, зависят от производительности карьера, начального положения и размеров фронта на уступах. Следствием годовых границ добычи являются годовые границы и объемы вскрыши.

Недостаток или избыток фронта добычных работ, рассредоточенность оборудования и транспортных коммуникаций по многим уступам, периодические остановки фронта по одному из бортов или группе уступов и сосредоточение большинства добычных экскаваторов на одном-двух уступах при малой длине блоков — усложняют работу транспорта на карьере и наряду с прочими организационно-технологическими причинами являются результатом недостаточного обоснования параметров систем в пределах смежных уступов самой залежи.

Порядок развития фронта добычи [Золотарев, 1965] наиболее сложен при разработке наклонных и крутых залежей.

Методика расчета систем и пути совершенствования технологии заложены в самом понятии «система разработки», определяющем целесообразный для конкретных природных условий порядок проведения подготовительных и очистных работ, увязанный с производительностью карьера и принятой схемой механизации. С одной стороны, это понятие отражает порядок развития фронта добычных работ, с другой — факторы, определяющие выбор рациональных систем и зависящие от той или иной системы.

Развитие технологии открытых работ в различных природных условиях свидетельствует о существенном изменении средств механизации, от которых зависят такие параметры как высота уступа, длина фронта, ширина площадок, толщина стружки и т. п. Потребность и экономическая целесообразность интенсификации разработки и повышения производительности карьеров [Мельников, 1961] обусловили появление систем разработки с продольным или поперечным фронтом большой длины при максимальном числе уступов в одновременной выемке. Однако сосредоточение многих машин и сложных транспортных коммуникаций на фронте каждого уступа усложняет организацию технологического процесса и управление производством. Наиболее простая технология достигается при системах разработки с минимальным числом уступов в одновременной

выемке, когда высокая добыча карьера обеспечивается применением новых производительных машин при одном-трех пунктах погрузки.

Рассмотрим часто применяемые системы с продольной подготовкой фронта добычи с целью выявления свойственных им закономерностей и возможных путей совершенствования технологии разработки месторождений.

В основу вывода зависимостей положено такое развитие подготовительных и очистных работ, при котором длительность подготовки нового фронта добычи должна быть меньше или равна времени отработки запасов

на равноценной длине фронта действующих уступов. Наиболее устойчивый режим работы карьера достигается при постоянстве общей длины, равномерности и непрерывности продвижения фронта добычи.

При обычной выемке уступами начало подготовки нового фронта и добыча на нижнем уступе возможны только после отхода работ на верхнем смежном уступе и создания рабочей площадки II (рис. 1). Подвижение фронта верхнего уступа (площадка подготовки)

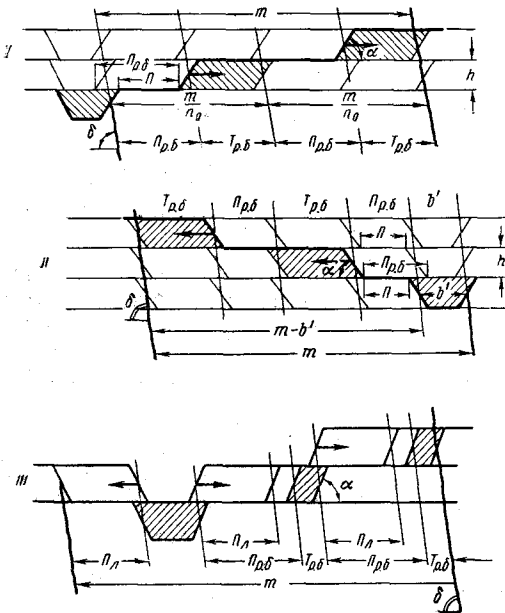


Рис. 1. Схемы к системам разработки с продольной подготовкой фронта добычи:

I — полевая подготовка в лежащем боку; II и III — рудная подготовка, соответственно, у висячего бока и в стороне от лежащего бока.

$$П_{р.б} = \Pi \pm h(\text{ctg } \delta \pm \text{ctg } \alpha)^*, \quad (1)$$

где Π — ширина рабочей площадки, м;

h — высота уступа, м;

α — угол откоса уступа, град.;

δ — угол падения залежи, град.

Исходя из условий равномерности и непрерывности продвижения работ, одновременно с проходкой траншеи фронт должен отойти на величину $T_{р.б}$ (по верхнему уступу до границ залежи). Таким образом, к моменту окончания проходки траншеи и подготовки фронта на очередном уступе отрабатывается равноценный ему фронт верхнего уступа, но при сохранении общего числа работающих уступов и общей длины фронта добычи.

Развитие рабочей зоны карьера определяется числом уступов в одновременной выемке [Зурков, 1959; Кузнецов, 1932; Ржевский, 1956], длиной фронта и основными показателями, связывающими размеры месторождения с параметрами систем разработки и производительностью карьера. К таким показателям относятся: показатель мощности залежи

$$k_m = \frac{m}{П_{р.б}}, \quad (2)$$

* Знаки «+» и «-» соответствуют продвижению фронта от лежащего или висячего боков залежи.

где m — горизонтальная мощность залежи, m ;
показатель интенсивности добычи

$$n = \frac{A_p}{q}, \quad (3)$$

где A_p — производительность карьера, m^3 ;

q — запасы уступа, m^3 , $q = L_p m h$;

L_p — длина залежи или фронта добычи уступа, m .

Время отработки запасов уступа — величина, обратная показателю интенсивности,

$$t = \frac{q}{A_p} = \frac{1}{n}. \quad (4)$$

Общее годовое подвигание фронта добычи

$$Y_r = nm. \quad (5)$$

Годовое подвигание фронта добычи одного уступа

$$Y_{r.y} = \frac{Y_r}{n_0} = \frac{nm}{n_0}, \quad (6)$$

где n_0 — число уступов в одновременной выемке.

Время t отработки запасов q при рассматриваемой системе разработки с продольной подготовкой на всю длину фронта уступа можно представить в виде суммы

$$t = t_T + t_{p.б}, \quad (7)$$

где t_T — время проведения траншей или подвигания фронта по породе до залежи или, в общем случае, длительность подготовки нового фронта добычи;

$t_{p.б}$ — время подвигания фронта на величину $\Pi_{p.б}$, необходимое для создания площадки Π ,

$$t_{p.б} = \frac{\Pi_{p.б}}{Y_{r.y}} = \frac{\Pi_{p.б}}{nm} n_0 = \frac{n_0}{k_m n}. \quad (8)$$

По условию равенства длительности подготовительных и очистных работ, время проведения траншей должно быть равно времени подвигания фронта на величину $T_{p.б}$ (см. рис. 1)

$$t_T = t_{ф.у}, \quad (9)$$

где $t_{ф.у}$ — время подвигания фронта на величину $T_{p.б}$.

$$t_{ф.у} = \frac{T_{p.б}}{Y_{r.y}} = \frac{T_{p.б}}{nm} n_0. \quad (10)$$

Подставляя значения t и $t_{p.б}$ из (4) и (8) в (7) и решая ее относительно t_T , получим зависимости, связывающие размеры месторождения с производительностью карьера, числом добычных уступов в одновременной выемке и основными параметрами систем разработки (длиной фронта, высотой уступа, шириной площадок)

$$t_T = \frac{k_m - n_0}{k_m n}, \quad (11)$$

$$v_T = \frac{L_p k_m n}{k_m - n_0}, \quad (12)$$

где v_T — скорость проходки траншей.

Эти зависимости можно использовать при проектировании или планировании горных работ на действующих карьерах, например: 1) для определения скорости проведения траншей — уравнения (11), (12) или выводимые из них

$$t_T = \frac{\Pi_{p.б} L_p h (k_m - n_0)}{A_p}, \quad (13)$$

$$v_T = \frac{A_p}{\Pi_{p.б} h (k_m - n_0)}; \quad (14)$$

2) для установления влияния параметров систем разработки $\Pi_{p.б}$, L_p , h и производительности карьера на скорость проведения траншей — зависимости (13) и (14);

3) для определения числа добычных уступов в одновременной выемке в зависимости от скорости проведения траншей v'_T

$$v_T \leq v'_T, \quad (15)$$

где v_T определяется по (11)—(14), а v'_T зависит от технологии и организации проведения траншей или принимается по данным передовой практики или проектных расчетов;

4) для проверки соответствия принятых параметров данному месторождению и карьере при заданной скорости проведения траншей v_T .

$$k'_m = \frac{n_0}{1 - \frac{L_p}{v_T} n} \leq k_m = \frac{m}{\Pi_{p.б}}, \quad (16)$$

где k'_m — показатель мощности залежи, соответствующий принятым параметрам.

Число добычных уступов в одновременной выемке (см. рис. 1) можно определить после подстановки в уравнение (9) значений $t_{ф.у}$ по (10) и t_T по (11)

$$n_0 = \frac{m}{\Pi_{p.б} + T_{p.б}}, \quad (17)$$

где $n_0 = (1, 2, 3, \dots, i)$.

По этому выражению (или графически по рис. 1) можно при заданном n_0 определить величину

$$T_{p.б} = \frac{m}{n_0} - \Pi_{p.б}. \quad (18)$$

По величине $T_{p.б}$, длине $l_б$ и производительности I блока (экскаватора) $A_б$ можно установить время и соответствующую скорость проведения траншей

$$t_{ф.у} = t_T = \frac{T_{p.б} l_б h}{A_б}, \quad (19)$$

$$v_T = \frac{L_p}{t_T} \leq v'_T. \quad (20)$$

Зная число уступов в одновременной выемке и скорость проведения траншей, можно определить производительность карьера

$$A_p = A_б n_б n_0. \quad (21)$$

Скорость проведения траншей (20) предопределяет их параметры, способы проходки, а также типы и производительности траншейных экскаваторов

$$Q_T = v_T S_T, \quad (22)$$

где S_T — поперечное сечение траншеи, m^2 ,

$$S_T = (b + h \operatorname{ctg} \alpha) h = b' h;$$

b' — ширина траншеи по средней линии, m .

Основные размеры и параметры применительно к условиям, аналогичным Оленегорским месторождению и карьере, даны в табл. 1, а результаты расчетов для систем разработки с продольной полевой подготовкой в контакте с лежащим боком и рудной подготовкой, в стороне от лежащего бока, в табл. 2 (см. рис. 1, III).

Таблица 1

Основные технологические параметры и показатели разработки ($L_p = 2000$ м)

Показатель	$\delta = 80^\circ, m = 194$ м				$\delta = 60^\circ, m = 218$ м			
	$A_p = 2,54$ млн. m^3		$A_p = 3,64$ млн. m^3		$A_p = 2,54$ млн. m^3		$A_p = 3,64$ млн. m^3	
	$h = 12$ м	$h = 15$ м	$h = 12$ м	$h = 15$ м	$h = 12$ м	$h = 15$ м	$h = 12$ м	$h = 15$ м
$l_p, б, м$	56	58	56	58	61	64	61	64
k_m	3,47	3,35	3,47	3,35	3,58	3,4	3,58	3,4
$q, \text{млн. } m^3$	4,65	5,82	4,65	5,82	5,24	6,55	5,25	6,55
n	0,546	0,436	0,783	0,626	0,486	0,382	0,677	0,555

Таблица 2

Характеристика систем разработки (см. рис. 1)

Показатель	$A_p = 2,54$ млн. m^3				$A_p = 3,64$ млн. m^3			
	$h = 12$ м		$h = 15$ м		$h = 12$ м		$h = 15$ м	
	I	III	I	III	I	III	I	III
$\delta = 80^\circ, m = 194$ м, $n_0 = 2$								
n	0,546		0,436		0,783		0,626	
$Y_T, \text{м/год}$	106		85		152		122	
$Y_{Tn}, \text{м/год}$	53		42,5		76		111	
$t, \text{годы}$	1,83		2,29		1,23		1,6	
$t_T, \text{годы}$	0,77	0,4	0,927	0,452	0,542	0,278	0,643	0,315
$v_T, \text{м/месяц}$	215	416	180	370	308	600	260	538
$Q_T, \frac{\text{тыс. } m^3}{\text{месяц}}$	75	145	81	166	107	209	117	242
$\delta = 60^\circ, m = 218$ м, $n_0 = 2$								
n	0,486		0,382		0,677		0,555	
$Y_2, \text{м/год}$	106		85		152		122	
$Y_{Tn}, \text{м/год}$	53		42,5		76		111	
$t, \text{годы}$	2,06		2,62		1,48		1,8	
$t_T, \text{годы}$	0,91	0,53	1,08	0,596	0,653	0,38	0,74	0,407
$v_T, \text{м/месяц}$	183	315	154	280	255	438	225	410
$Q_T, \frac{\text{тыс. } m^3}{\text{месяц}}$	64	110	69	126	89	152	101	184

Потребные скорости (12), (14), (20) проведения траншей и производительности (22) траншейных экскаваторов при системах разработки с продольной подготовкой на всю длину фронта уступа резко возрастают при большом числе уступов в одновременной выемке. Это заметно даже при

двух уступах в одновременной выемке (табл. 2), так как общее время t отработки запасов уступа q складывается из двух величин t_T и $t_{p.б.}$

Как видно из табл. 2, доля времени t_T незначительна и, следовательно, крупные траншейные экскаваторы используются периодически. Зависящие от времени t_T скорости (20) могут быть больше скоростей, достигнутых на карьерах или рассчитанных для различных схем проходки*. Для тех же залежей по размерам карьеров и по производительности на рис. 2 показана система разработки, для которой действительна зависимость

$$t = \frac{1}{n} = t_T. \quad (23)$$

При этой системе траншеи проходятся непрерывно, но полезная длина фронта уступа уменьшается в два раза. Скорости проходки оста-

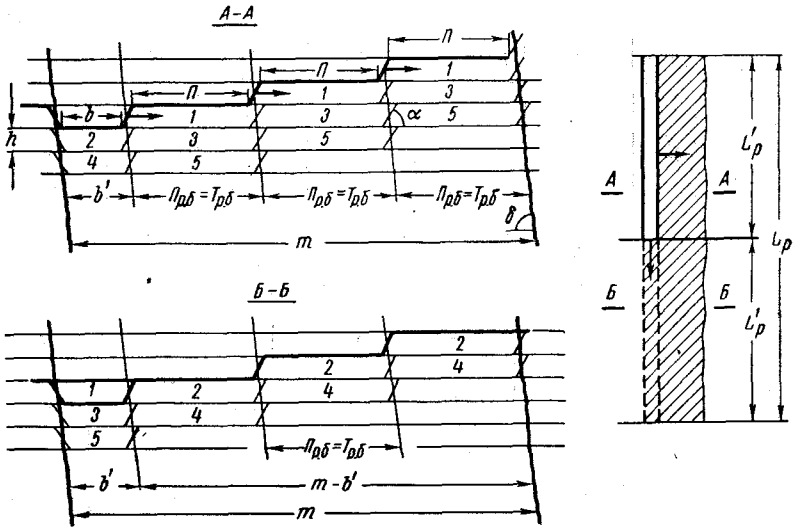


Рис. 2. Схема к системе разработки с продольной подготовкой участками:

1—5 — последовательность выемки.

ются в пределах, достигнутых на карьерах, 80—100 м/месяц, но производительность карьера, несмотря на увеличение числа уступов в одновременной выемке, ограничивается в связи с сокращением фронта добычи

$$L'_p = 0,5 L_p, \quad (24)$$

где L'_p — полезная длина фронта добычи уступа.

Карьерное поле приходится делить на два участка: на одном идет подготовка, на другом — добыча (рис. 2) с максимальным числом уступов в одновременной выемке

$$n_{н.п. \max} = n_{н. \max} - 1. \quad (25)$$

где $n_{н. \max}$ — наибольшее число уступов между висячим и лежащим боками залежи.

* См. в настоящем сборнике С. Я. Арсеньев и В. М. Просочкин. Скорости проведения траншей в зависимости от высоты уступа и способов проходки.

При полевой подготовке (см. рис. 1) $n_{н. max}$ определяется по схеме рис. 3

$$n_{н. max} = \frac{m + \Pi \pm h (\operatorname{ctg} \delta \pm \operatorname{ctg} \alpha) - x}{\Pi \pm h (\operatorname{ctg} \delta \pm \operatorname{ctg} \alpha)}, \quad (26)$$

где, как и выше, знаки «+», или «-» показывают направление подвигания фронта соответственно от лежачего или висячего боков залежи.

Выражения (25) и (26) можно преобразовать, введя показатель мощности залежи (2)

$$n_{н. п. max} = k_m - \frac{x}{\Pi_{р. б}}, \quad (27)$$

$$n_{н. max} = k_m - \frac{x}{\Pi_{р. б}} + 1, \quad (28)$$

где $x < \Pi_{р. б}$ (см. рис. 3).

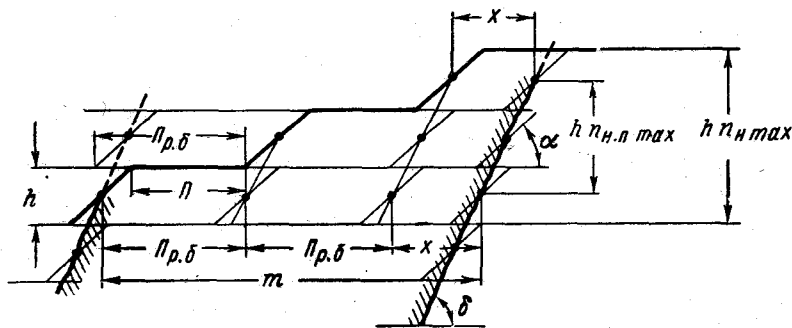


Рис. 3. Схема к расчету наибольшего числа уступов между висячим и лежачим боками залежи.

Для быстрого определения наибольшего числа уступов в одновременной выемке надо из показателя мощности k_m вычесть отношение $x : \Pi_{р. б}$. Так, например, при $k_m = 2,3$ получим $x : \Pi_{р. б} = 0,3$, $n_{н. п. max} = 2,3 - 0,3 = 2$, $n_{н. max} = 2,3 - 0,3 + 1 = 3$.

С изменением условий и систем разработки существо рассмотренных аналитических зависимостей сохраняется, но несколько изменяется их форма. Например, при проходке траншеи по руде (рис. 1, II)

$$n_0 = \frac{m - b'}{\Pi_{р. б} + T_{р. б}}. \quad (29)$$

При проходке траншеи в стороне от лежачего бока (рис. 1, III)

$$t_T = \frac{k_m - [k_L (n_{\phi} - n_0) + n_0]^*}{k_m n}, \quad (30)$$

$$n_0 = \frac{m - b' - \Pi_{л}}{\Pi_{р. б} + T_{р. б}}, \quad (31)$$

где k_L — показатель места расположения рудной траншеи (в данном случае относительно лежачего бока);

$$k_L = \Pi_{л} : \Pi_{р. б};$$

* Эта формула применена для расчета показателей системы III в табл. 2.

$H_{\text{л}}$ — расстояние от борта траншеи до лежачего бока;

$n_{\text{ф}}$ — число фронтов добычи в период подвигания фронта на величину

$H_{\text{л}}$ (для условий рис. 1, III $n_{\text{ф}} = 3$).

При системах с односторонним подвиганием фронта (рис. 1, I, II) $n_{\text{ф}} = n_0$, $k_{\text{л}}(n_{\text{ф}} - n_0) = 0$ и действуют зависимости (11), (17) и (29).

Обе рассмотренные системы с продольной подготовкой на всю длину фронта и участками (см. рис. 1 и 2) применимы даже при минимальной величине рабочей площадки, которая изменяется, как известно, на действующих карьерах в широких пределах. Ширина рабочей площадки на отдаленных уступах и участках добычной зоны нередко больше и иногда меньше минимальных расчетных значений. Широкие площадки обычно наблюдаются на средних уступах добычной зоны, а узкие — на нижнем и верхнем. Это означает или дополнительный резерв, обеспечивающий относительную независимость подвигания фронта и расстановки экскаваторов на смежных уступах, или отставание движения фронта на отдельных участках карьера. Чаще на карьерах применяют комбинацию двух рассмотренных систем, при которой все основные параметры и показатели (длина фронта и блоков, скорость проведения траншей, число экскаваторов на уступах и их производительность) являются переменными. Следствием этого являются периодические нарушения рациональной технологии и ритмичности производства, обычно связанные с появлением сложных транспортных коммуникаций, увеличением потребного оборудования, ростом объема вспомогательных работ, необходимостью высоких скоростей проходки траншей и пр. Оперативное управление в таких условиях, особенно на карьерах с большими грузопотоками, становится сложным. Здесь целесообразно применение управляющих машин или машин-советчиков [Ржевский, Школьников, Коробов, 1965].

Дальнейшее развитие и применение расчетных методов для условий разработки месторождений различных размеров и форм выявит существенно важные детали систем и вскрытия в добычной зоне карьера, приведет к установлению регламента в параметрах фронта и даст в конечном счете повышение производительности оборудования и труда на карьерах.

Совершенствование технологии открытой разработки идет по пути применения новых средств и способов рыхления и погрузки скальных пород на высоких уступах: глубокого обруивания (на высоту двух уступов), увеличения емкости ковшей и габаритов механических лопат, освоения гребково-роторных экскаваторов скального типа на уступах высотой 20—30 м.

Наряду с обычной выемкой уступами возможно и другое направление в технологии открытой разработки с выемкой скальных руд и пород тонкими горизонтальными и наклонными слоями (стружками) с постепенным опусканием поверхности карьера. Здесь для карьеров большой производительной мощности потребуются высокопроизводительные комбинированные разрыхляющие и погрузочные машины, а также трубопроводный или конвейерный транспорт на поверхность. Совершенствование технологии добычи скальных пород в этом направлении связано с изучением физики горных пород и энергоемкости разрушения тонких слоев и развитием трубопроводного и конвейерного транспорта с больших глубин.

Выемка тонкой горизонтальной или наклонной стружкой обеспечит ряд существенных технологических и экономических преимуществ: 1) исключит первичные стадии дробления на обогатительных фабриках; 2) снизит потери и разубоживание на контактах залежей или пластов с вмещающими породами, что особенно важно при разработке свиты пла-

стов угля (Кузбасс) или группы сближенных маломощных залежей руд цветных металлов; 3) уменьшит воздействие горных работ на массив пород, находящихся за конечным бортом карьера, что даст возможность увеличить углы откоса конечных бортов и значительно сократить затраты на породные работы в период строительства и эксплуатации.

Выводы

1. Интенсивность открытой добычи при выемке уступами ограничивается в настоящее время скоростями проведения траншей и длиной фронта добычи, которая зависит от размеров залежей и применяемых систем разработки.

2. При выемке тонкими горизонтальными или наклонными слоями исключается жесткая взаимосвязь подготовительных и очистных работ, характерная при выемке уступами.

3. Основанная на закономерной связи подготовительных и очистных работ методика исследования систем открытой разработки способствует дальнейшему выявлению и уточнению рациональных параметров технологии для характерных типов месторождений и карьеров по их производительности.

4. По рекомендуемым в статье расчетным зависимостям быстро определяются параметры систем разработки и производственные возможности карьера, что необходимо на первой стадии проектирования карьеров, при планировании горных работ и для анализа фронта добычи действующих карьеров.

5. Дальнейшее развитие и применение рекомендуемых зависимостей, связывающих характеристики месторождений с параметрами систем и производительностью карьера приведет к решению ряда задач, определяющих затраты и производительность труда на действующих карьерах, и прежде всего — к выбору рациональных схем стационарных и перемещаемых транспортных коммуникаций в зависимости от числа уступов в одновременной выемке, размеров, стабильности и интенсивности подвигания фронта добычи.

ЛИТЕРАТУРА—

Золотарев Н. Д. Технология и экономика открытой разработки месторождений. Недра, 1965.

Зурков П. Э. Разработка железных руд сложного состава открытым способом. В сб. Техника и технология открытых горных работ. Углетехиздат, 1959.

Кузнецов И. А. Основные расчеты при разработке рудных месторождений. Ч. 2. Госгоргеоллиздат, 1932.

Мельников Н. В. Развитие горной науки в области открытой разработки месторождений в СССР. Госгортехиздат, 1961.

Ржевский В. В. Проектирование контуров карьеров. Metallургиздат, 1956.

Ржевский В. В., Школьников А. Д., Коробов С. Д. Использование вычислительных машин для планирования и управления технологическими процессами на карьерах. ЦНИИТЭИ угля, 1965.