

**В.В.ИВАНОВ**, канд. тех. наук, ассистент, [vladimirivanov@inbox.ru](mailto:vladimirivanov@inbox.ru)

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

**V.V.IVANOV**, PhD in eng. sc., assistant lecturer, [vladimirivanov@inbox.ru](mailto:vladimirivanov@inbox.ru)

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ФРОНТА ГОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ СПЛОШНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Рассмотрены основные особенности открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений. Определена рациональная длина экскаваторного блока для различных моделей драглайна при бестранспортной системе разработки с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство. Установлена зависимость определения длины добычного фронта для случая разработки сложноструктурного карбонатного месторождения при перемещении полезного ископаемого с использованием железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** месторождение, бестранспортная система разработки, карьер, экскаватор, фронт горных работ, сложноструктурные карбонатные месторождения, железнодорожный транспорт.

## **DETERMINATION OF THE FRONT MINING LENGTH FOR BACKFILL MINING METHOD OF COMPLEX STRUCTURE CARBON DEPOSITS BY RAILWAY TRANSPORT**

The work describes basic features of open pit development of complex structure carbon deposits. The rational length of excavator block for different models of dragline for backfill mining method was determined. The work also gives the dependence for determining the production front length for development of complex structure carbon deposits with the use of railway service for transportation of the extracted mineral.

**Key words:** deposit, backfill mining method, quarry, shovel, front mining, complex structure carbon deposits, railway transport.

Сложноструктурные карбонатные месторождения характеризуются сложными горно-геологическими и горно-техническими условиями разработки. Как правило, это группа площадных месторождений или участков, включающая нескольких пластов полезного ископаемого и пропластков вскрыши с изменчивостью содержания полезных компонентов и вредных примесей в полезном ископаемом, условий залегания и мощности залежи [4].

Длина фронта работ в блоке и производительность вскрышных экскаваторов в кон-

кретных горно-геологических условиях определяют скорость подвигания фронта работ. Для принятия проектных решений по этим показателям необходимо учитывать особенности систем разработки при перевалке вскрыши во внутренние отвалы.

Скорость подвигания вскрышной заходки при бестранспортной (сплошной) системе разработки с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство является определяющей для комплекса оборудования [1]. Производство вскрышных работ может вестись несколькими комплек-

сами оборудования, т.е. с разделением фронта работ на экскаваторные блоки и использованием в каждом блоке отдельного вида вскрышного оборудования.

Вскрышной экскаваторный блок, отрабатываемый по системе разработки с перевалкой пород во внутренний отвал, является элементом технологии горных работ, определяющим ее параметры.

Установлено, что рациональная длина экскаваторного блока зависит от организации работ [6], а также от емкости ковша драглайна, мощности разрабатываемых пластов полезного ископаемого и высоты вскрышного уступа. В табл.1 представлены значения рациональной длины экскаваторного блока по данным различных авторов [2, 5] при бестранспортной системе разработки с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство.

Таблица 1

**Рациональная длина экскаваторного блока при бестранспортной системе разработки с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство**

Емкость ковша драглайна, м <sup>3</sup>	Модель драглайна	Длина экскаваторного блока (км) при высоте вскрышного уступа	
		$H_b < 20 \text{ м}$	$H_b > 20 \text{ м}$
10-11	ЭШ-10.70	<u>1,5-2,0</u>	<u>3,0-4,0</u> 2,0-2,5
	ЭШ-11.70	1,0-1,5	
15-20	ЭШ-15.90		
	ЭШ-20.90		
	ЭШ-15.100		
	ЭШ-20.100		
25-40	ЭШ-40.85	<u>2,5-3,5</u>	
	ЭШ-25.100	1,5-2,0	

Анализ результатов исследований и данные карьеров-аналогов по длине вскрышного экскаваторного блока при бестранспортной системе разработки с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство позволили путем интерполяции получить рациональную длину блока в зависимости от мощности разрабатываемого пласта полезного ископаемого и емкости ковша драглайна (табл.2).

При бестранспортных системах разработки продольными заходками с непосредственной перевалкой пород во внутренние

отвалы должно соблюдаться равенство скоростей движения вскрышной и добычной заходки [3].

Таблица 2

**Рациональная длина фронта горных работ для различных моделей драглайнов**

Модель драглайна	Рациональная длина блока драглайна (м) при мощности пласта полезного ископаемого, м			
	5	10	15	20
ЭШ-11.70	1420	1460	1580	1660
ЭШ-15.90	1780	1880	1960	2040
ЭШ-20.90	1880	1960	2040	2120
ЭШ-25.100	2000	2080	2160	2240
ЭШ-40.85	2200	2280	2360	2440

Для обеспечения нормативного объема вскрытых запасов вскрышной экскаватор должен опережать добычной и после отработки вскрышной заходки вернуться к началу следующей заходки. При этом добычной экскаватор также возвращается к началу заходки.

Объем готовых к выемке запасов

$$\Delta P = h_d AL_3, \quad (1)$$

где  $h_d$  – высота добычного уступа, м;  $A$  – ширина заходки экскаватора, м;  $L_3$  – расстояние от вскрышного до добычного забоя, м.

При увеличении ширины заходки вскрышного экскаватора уменьшается допустимая высота вскрышного уступа и увеличивается угол поворота драглайна при разгрузке. Отработка заходов в оба направления не обеспечивает постоянного поддержания нормативных готовых к выемке запасов, так как при подходе к границам карьерного поля они стремятся к нулю.

Возможность размещения вскрыши в выработанном пространстве без подваливания добычного уступа определяется параметрами драглайна, местом его установки и высотой вскрышного уступа. Расположение драглайна на кровле вскрышного уступа (работа нижним черпанием) не позволяет отрабатывать уступ при большей мощности вскрыши без переэкскавации.

Системы разработки продольными заходками с переэкскавацией пород во внутренние отвалы применяются в случае, когда параметры драглайнов не обеспечивают непосредственного размещения вскрыши в

выработанное пространство. В зависимости от горно-геологических условий разрабатываемых месторождений возможны различные варианты реализации этих систем разработки, при которых вскрышной экскаватор размещает вскрышу во внутреннем отвале без подсыпки добычного уступа или подсыпает уступ.

Производительность отвального экскаватора

$$Q_{\text{отв}} = K_{\text{п}} Q_{\text{в}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{в}}$  — производительность вскрышного экскаватора,  $\text{м}^3/\text{мес.}$ ;  $K_{\text{п}}$  — коэффициент переексплуатации.

Производительность добычного экскаватора

$$Q_{\text{д}} = \frac{h_{\text{д}} Q_{\text{в}}}{h_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где  $h_{\text{д}}$  — высота добычного уступа, м;  $h_{\text{в}}$  — высота вскрышного уступа, м.

Длина фронта горных работ при разработке горизонтальных сложноструктурных месторождений зависит от следующих факторов:

- производственная мощность карьера по полезным ископаемым;
- скорость подвигания фронта работ;
- суммарная мощность пластов полезных ископаемых;
- производительность драглайна по вскрышным породам, перемещаемым в выработанное пространство;
- вид карьерного транспорта на добычных работах.

Расчетная длина фронта горных работ при транспортировании полезного ископаемого железнодорожным транспортом для различных условий системы разработки представлена в табл.3.

Для обеспечения проектной производительности карьера по полезному ископаемому на рациональной длине фронта горных работ должно быть размещено необходимое для требуемой скорости подвигания рабочего фронта количество вскрышного оборудования.

Длина фронта горных работ и длина экскаваторного блока влияют на производительность горно-транспортного оборудования и карьера.

При проектировании карьера следует определять экономически целесообразные значения длины экскаваторного блока для каждого вида транспорта с учетом типа погрузочного оборудования. Определение оптимальной длины блока должно проводиться с учетом обеспечения заданной производительности экскаватора, соблюдением принятой технологии ведения горных работ и обеспечения минимума себестоимости добычи.

Затраты на строительство подвижного железнодорожного пути и энергетических коммуникаций зависят от годового подвигания фронта работ; количества добычных экскаваторов, обрабатывающих пласт полезного ископаемого; длины экскаваторного блока (фронта горных работ, приходящегося на один экскаватор); величины увеличения железнодорожного забойного пути (на длину тупика для размещения подвижного состава и длину переходной кривой) по сравнению с длиной фронта горных работ; капитальных затрат на строительство 1 м железнодорожного пути и коммуникаций; нормы амортизации капитальных затрат на строительство коммуникаций и железнодорожного пути, а также от годовой производительности добычного экскаватора.

Эксплуатационные удельные затраты на железнодорожный транспорт зависят от длины фронта работ

$$C_{\Sigma} = C_{\text{тр}} + C_{\text{под}} + C_{\text{пер}} + C_{\text{ком}} + C_{\text{п.к}} + C_{\text{у}} + C_{\text{п.э}}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{тр}}$  — удельные затраты на транспортирование полезного ископаемого, зависящие от длины фронта работ,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{под}}$  — удельные затраты на поддержание железнодорожного пути,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{пер}}$  — удельные затраты на переукладку железнодорожного пути,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{ком}}$  — удельные затраты на содержание коммуникаций,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{п.к}}$  — удельные затраты на перенос коммуникаций,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{у}}$  — удельный ущерб от простоя экскаватора при обмене составов на погрузке полезного ископаемого,  $\text{руб./м}^3$ ;  $C_{\text{п.э}}$  — удельные затраты от перегона экскаватора на новую заходку,  $\text{руб./м}^3$ .

Расчетная длина фронта работ при различной производительности карьера по полезному ископаемому

Модель драглайна	Мощность пласта, м	Длина фронта работ (м) при годовой производительности карьера, млн т						
		1	2	3	5	7,5	10	15
ЭШ-11.70	5	2700	5400	8120				
	10	1360	2750	4140	6930			
	15	930	1860	2820	4710	7100	9450	
	20		1430	2150	3600	5410	7220	
ЭШ-15.90	5	2720	5460	8200				
	10	1360	2750	4160	6940			
	15	920	1860	2810	4700	7040	9400	
	20		1410	2120	3550	5330	7110	
ЭШ-20.90	5	2260	4550	6840				
	10	1130	2300	3450	5980	8660		
	15		1550	2330	3900	5840	7810	
	20		1150	1760	2930	4410	5900	8850

Оптимальная длина добычного фронта для случая разработки рассматриваемых месторождений при железнодорожном транспорте определяется по критерию минимума суммарных затрат, зависящих от изменения длины добычного фронта,

$$L_6 = \sqrt{\frac{Q_d \{ [V_{\text{л}} v_{\text{ср}} A (C'_m d_{\text{т}} + C'_k d_{\text{к}}) + (C'_n + C'_{\text{ком}})] + v_{\text{ср}} V_{\text{л}} n_3 (C'_{\text{пер}} + C'_{\text{п.к}} + C'_3 t'_{\text{п}}) + Q_d n_3 A (C'_3 + C'_l) \}}{n_3 A h_d [V_{\text{л}} v_{\text{ср}} (C'_m d_{\text{т}} + C'_k d_{\text{к}}) + Q_d (C'_3 + C'_l) + V_{\text{л}} v_{\text{ср}} (C'_n + C'_{\text{ком}})]}}, \quad (5)$$

где  $V_{\text{л}}$  – суммарная емкость думпкаров одного локомотивного состава,  $\text{м}^3$ ;  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения состава по забойным путям,  $\text{км/ч}$ ;  $C'_m$  – стоимость строительства 1 м железнодорожного пути, руб.;  $d_{\text{т}}$  – норма амортизации капитальных затрат на строительство железнодорожного пути;  $C'_k$  – стоимость 1 м коммуникаций, руб.;  $d_{\text{к}}$  – норма амортизации капитальных затрат на строительство коммуникаций;  $C'_n$  – затраты на поддержание 1 м железнодорожного пути в год, руб.;  $C'_{\text{ком}}$  – эксплуатационные расходы на содержание 1 м коммуникаций в год,

руб.;  $n_3$  – количество добычных экскаваторов, отрабатывающих пласт полезного ископаемого;  $C'_{\text{пер}}$  – эксплуатационные расходы на переукладку 1 м железнодорожного пути, руб.;  $C'_{\text{п.к}}$  – эксплуатационные расходы на перенос 1 м коммуникаций, руб.;  $C'_3$  – стоимость машино-часа добычного экскаватора, руб.;  $t'_{\text{п}}$  – время на перегон экскаватора в начало новой заходки, ч;  $C'_l$  – стоимость машино-часа локомотивного состава, руб.

Анализ результатов, полученных при определении оптимальной длины фронта горных работ для карьеров-аналогов, разрабатывающих сложноструктурные карбонатные месторождения, позволяет сделать следующие выводы:

- Общие удельные затраты при увеличении высоты уступа снижаются.

- Общие удельные затраты с увеличением длины фронта работ сокращаются до достижения оптимума, а затем постепенно возрастают.

- Оптимальная длина фронта работ при уменьшении высоты уступа возрастает.

*Работа выполнена при проведении поисковых научно-исследовательских работ в рамках реализации Федеральной целевой программы РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.*

1. *Арсентьев А.И.* Развитие горных работ в карьерном пространстве / Санкт-Петербургский горный ин-т. 1994. 104 с.
2. *Арсентьев А.И.* Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И.Арсентьев, Г.А.Холодныков. М.: Недра, 1994. 336 с.
3. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. ПБ 03-498-02. М., 2003. 132 с.
4. *Иванов В.В.* Определение оптимальной величины готовых к выемке запасов при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений // Освоение минеральных ресурсов Севера. Воркута, 2008. С.112-116.
5. *Ржевский В.В.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. М.: Недра, 1968. 639 с.
6. *Чирков А.С.* Добыча и переработка строительных горных пород, М.: Изд-во Московского государственного горного ун-та, 2001. 623 с.

1. *Arsentiev A.I.* The development of mining in the career space / Saint Petersburg State Mining Institute. 1994. 104 p.
2. *Arsentiev A.I.* Design of mining in the open developing fields / A.I.Arsentiev, G.A.Holodnyakov. Moscow: Nedra, 1994. 336 p.
3. Uniform rules for safety in the mining opencast. PB 03-498-02. Moscow, 2003. 132 p.
4. *Ivanov V.V.* Determination of the optimal value of ready-to-notch resources for the development of open slozhnostrukturnykh carbonate deposits // The development of mineral resources of the North. Vorkuta, 2008. P.112-116.
5. *Rzhevskij V.V.* Technology and complex mechanization of open cast mining. Moscow: Nedra, 1968. 639 p.
6. *Chirkov A.S.* Extraction and processing of building rocks. Moscow: Publishing house of Moscow State Mining University, 2001. 623 p.