

УДК 622.271.4

А.С. Ташкинов, С.И. Протасов

### К ВОПРОСУ О СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Взрывная подготовка скальных и полускальных горных пород оказывает определяющее влияние на эффективность всех последующих технологических процессов. В свою очередь, результаты взрывной отбойки пород зависят от целого ряда природных, технических и технологических факторов. Обоснование параметров буровзрывных работ (БВР), базирующееся на объективном учете влияния всех этих факторов на результаты взрыва, позволяет существенно улучшить качество взрывной подготовки пород, повысить эффективность работы горнотранспортного оборудования и предприятия в целом.

Одним из важных направлений в совершенствовании технологических процессов производства вообще и на открытых горных работах, в частности, является разработка и внедрение в практику стандартов на технологические процессы, основывающиеся на типовых технологических схемах.

Так, стандартом на процесс взрывной подготовки пород к выемке предусматривается осуществлять БВР на карьерах на основе типовых проектов, которые должны включать типовые технологические схемы взрывной подготовки пород, разработанные с учетом горно-геологических особенностей месторождения, структурных и физико-механических свойств пород, технологических параметров горных работ и параметров основного горнотранспортного оборудования.

Первыми проектными документами начального периода освоения месторождения являются ТЭО целесообразности строительства или реконструкции предприятия и задание на проектирование. В ТЭО на основе укрупненных расчетов принимаются основные решения по технологии, параметрам развития горных работ и целесообразности проектирования. На основании ТЭО и задания на проектирование осуществляется собственно проектирование, которое, в зависимости от сложности объекта и условий проектирования, осуществляется в одну (технорабочий проект) или две (технорабочий проект, а затем рабочие чертежи) стадии.

Как технорабочий, так и технический проекты заканчиваются детальным обоснованием технико-экономических показателей проекта и основных параметров и показателей технологических процессов.

Следовательно, проектирование параметров взрывной подготовки пород осуществляется в два этапа: при разработке проектной документации на строительство (реконструкцию) предприятия, а также при эксплуатации месторождения в рамках

типового проекта производства БВР. В соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах (ПБ 13-407-01) организация, ведущая взрывные работы с применением «массовых взрывов», должна иметь типовой проект производства БВР как базовый документ для разработки паспортов и проектов массовых взрывов, выполняемых в конкретных условиях.

За последние годы номенклатура экскаваторного парка на разрезах Кузбасса сильно изменилась за счет приобретения новой экскавационной техники отечественного и зарубежного производства. Так для выемочно-погрузочных работ при транспортной технологии используются карьерные экскаваторы типа ЭКГ, ЭКГ-у, ЭГО и ЭШ с геометрической емкостью ковша от 5 до 56 м<sup>3</sup> (табл. 1). При этом эффективность БВР целесообразно оценивать [1] по совокупным затратам на подготовку ( $C_{БВР}$ , р/м<sup>3</sup>) и экскавацию ( $C_э$ , р/м<sup>3</sup>) пород. Очевидно, что увеличение затрат на БВР целесообразно до тех пор, пока это компенсируется снижением стоимости выемочно-погрузочных работ, т.е.

$$C = (C_{БВР} + C_э) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $C$ ,  $C_{БВР}$ ,  $C_э$  – затраты соответственно суммарные, на БВР и экскавацию, р/м<sup>3</sup>.

Анализ элементов стоимостных затрат на буровзрывные и выемочно-погрузочные работы, выполненный на основе выражения (1) при варьировании в широком диапазоне природных, технических и технологических факторов, показал, что, рациональная степень взрывного дробления пород ( $Z_p$ ), оцениваемая отношением диаметра средней естественной отдельности ( $d_e$ ) к диаметру среднего куска взорванной породы ( $d_{cp}$ ) для рассматриваемых типов карьерных экскаваторов может быть представлена в следующем виде:

$$Z_p = 1 + \frac{\kappa d_e^{n_1}}{\mathcal{E}_{БВ}^{n_3} + E^{n_2}} \quad (2)$$

где  $\kappa$  – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности выемочной техники (форму ковша, удельную массу и т.д.);

$d_e$  – диаметр средней естественной отдельности, м;

$E$  – геометрическая емкость ковша, м<sup>3</sup>,

$n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  – коэффициенты, характеризующие соответственно диаметр средней естественной отдельности, тип экскаватора, относительную эффективность БВ;

$\mathcal{E}_{БВ}$  – относительная эффективность БВ, определяется на основе выражения

Таблица 1. Типы карьерных экскаваторов циклического действия, применяемых в Кузбассе для разработки пород по транспортной технологии

Тип экскаватора	Отличительные признаки
ЭКГ	Электрические, на гусеничном ходу, прямая лопата, с нормальным рабочим оборудованием
ЭКГ-у (ус)	Электрические, на гусеничном ходу, прямая лопата, с удлиненным рабочим оборудованием для верхней погрузки (с погрузкой на уровне стояния)
ЭГО	Гидравлические, на гусеничном ходу, обратная лопата
ЭШ	Электрические, шагающий ход, гибкая связь ковша со стрелой

Таблица 2. Типизация условий выемочно-погрузочных работ при разработке взорванных пород карьерными экскаваторами по транспортной технологии

Параметры	Тип экскаватора					
	Прямая мехлопата			с удлиненным рабочим оборудованием, ЭКГ-у (ЭКГ-ус)	обратная гидравлическая лопата, ЭГО	шагающий драглайн, ЭШ
	с нормальным рабочим оборудованием, ЭКГ					
$E, м^3$	5-23	25-35	56	5-15	5,2-28	11-20
$k$	1	1,05	1,15	1	1	1,05
$n_1$	2	2	2	2	2	2
$n_2$	0,2	0,2	0,2	0,17	0,13	0,13
$n_3$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

$$\mathcal{E}_{BB} = K_{BB} \cdot C_{BB} \cdot C_{ЭГ}^{-1} \quad (3)$$

Здесь  $K_{BB}$  – переводной коэффициент эквивалентных зарядов;

$C_{BB}, C_{ЭГ}$  – цена 1 кг соответственно рассматриваемого и эталонного ВВ, р.

Значения параметров  $k, n_1, n_2, n_3$  для различных типоразмеров экскаваторов принимаются по данным табл. 2.

При анализе установлено, что отклонение значений суммарных затрат, определяемых в соответствии с условием (1), от затрат, которые требуются для достижения рациональной степени взрывного дробления пород в соответствии с выражением (2), не превышает 5%.

Геологическое строение Кузнецкого угольного бассейна изучено довольно подробно и разработана схема стратиграфического расчленения пород. Выделено семь геолого-генетических комплексов пород, начиная от покровных четвертичных отложений и кончая магматическими породами.

Группа скальных и полускальных пород, разрабатываемых открытым способом, представлена, главным образом, породами кольчугинской и балахонской серий.

По геотектоническим условиям угленосные районы бассейна разделены [2] на четыре зоны: Приколывань-Томскую линейной складчатости и разрывов (на севере); Центральную пологих складок и куполовидных поднятий (в центральной части); Присалаирскую линейной складчатости (на юго-западе); Пригорношорскую моноклиналей (на юге).

Присалаирская зона в свою очередь делится на две подзоны: интенсивной и пологой линейной складчатости.

Расположение угольных месторождений по геотектоническим зонам приведено в табл. 3.

Углевмещающие породы месторождений, расположенных в Пригорношорской, Приколывань-Томской зонах и в подзоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской зоны, представлены в основном балахонской серией.

Таблица 3. Расположение угольных месторождений Кузбасса по геотектоническим зонам [2]

Геотектоническая зона	Месторождения
Приколывань-Томская	Кедровско-Крохалевское
Центральная	Талдинское
Присалаирская	Подзона пологой линейной складчатости: Егозово-Красноярское, Уропское. Подзона интенсивной линейной складчатости: Бачатское, Киселевское, Прокопьевское, Ананьинское
Пригорношорская	Томское, Сибиргинское, Курейинское, Урегольское

Таблица 4. Марки угля (ГОСТ 25543-88) и стадии эпигенеза вмещающих пород [3, 4]

Марка угля	Д	ДГ, Г, ГЖ, ГЖО	Ж	ЖК, К, КО, КС	КС, ОС, ТС, СС	Т
Стадия эпигенеза	I	II	III	IV	V	VI

В Центральной зоне и в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской зоны преобладают породы кольчугинской серии. Соответственно распределены и стадии эпигенеза пород. Балахонская серия характеризуется высокими, а кольчугинская – низкими стадиями эпигенеза пород.

Стадию эпигенеза вмещающих пород можно определять по степени метаморфизма угля. Хорошим индикатором степени метаморфизма угля является его марочный состав (табл. 4).

В соответствии с рекомендациями геологической службы бассейна и результатами исследований вскрышные породы угольных месторождений по размеру обломочного материала и составу цемента разделены на четыре группы литотипов – конгломераты (К) и гравелиты (Г), песчаники (П), алевролиты (А), аргиллиты (АР). К особой группе отнесены конкреционные породы (КОН).

По гранулометрическому составу песчаники подразделяются на три (ПК, ПС, ПМ – соответственно крупно-, средне-, мелкозернистые), а алевролиты на два (АК, АМ – соответственно крупно-, мелкозернистые) литотипа. В отдельные литотипы выделены песчаники на карбонатном (П) и глинистом (ПГ) цементе, алевролиты на карбонатном цементе (А), переслаивание песчаника и алевролита (ПА).

Для обеспечения возможности использования информации, полученной на основе многофакторного статистического анализа, осуществлена ее систематизация, разработана таблица взаимосвязи геолого-генетических признаков и осуществлена их ранжировка (табл. 5). Обоснование ранга геолого-генетических признаков пород рекомендуется [5] осуществлять при соблюдении следующих условий:

- области признакового пространства, объединяющие литотипы пород и имеющие одноименные

Таблица 5. Взаимосвязь геолого-генетических признаков [4]

Геологическая серия	Геотектоническая зона	Стадия эпигенеза	Ранги геолого-генетических признаков				
			1	2	3	4	5
Балахонская	Прикольвань-Томская	III	П	ПМ	ПС, ПК, ПГ, К, Г, Д	ПА, АК	АМ
		IV	П	А	ПМ, ПС, ПК, К, Г	ПГ, ПА	АК, АМ
	Присалаирская	IV	П	А	ПМ, ПС, ПК, ПГ	ПА, АК	АМ, АР
		V	П	А	ПМ, ПС, ПК, ПГ	ПА, АК	АМ, АР
		VI	П	А	ПС, ПМ, ПК, К, Г	ПГ, ПА, АК	АМ, АР
	Пригорношорская	IV	П	ПМ, ПС, А	ПК, ПГ, ПА, К, Г	АК	АМ
		V	П	А	ПМ, ПС, ПК, ПГ	ПА, К, Г, АК	АМ
		VI	П	А	ПМ, ПС, ПК	ПГ, ПА, Г, К, АК	АМ
	Кольчугинская	Присалаирская	I	П	ПМ, ПС, ПК, А	ПГ	ПА, АК
II			П	ПМ, ПС, ПК, А	ПГ	ПА, АК	АМ, АР
Центральная		II	П	А	ПМ, ПС, ПК	ПГ, ПА, АК	АМ, АР

Таблица 6. Значения коэффициентов  $a_1$  и  $c$

Коэффициенты	Геологическая серия									
	Балахонская					Кольчугинская				
	Геотектоническая зона									
	Прикольвань-Томская	Присалаирская			Пригорношорская			Присалаирская	Центральная	
	Стадия эпигенеза									
	III-IV	IV	V	VI	IV	V	VI	I	II	II
$a_1$	180	160	180	200	180	200	220	95	125	100
$c$	2,55	2,36	2,53	2,58	2,5	2,76	2,93	1,57	2,12	1,79

стадию эпигенеза, геотектоническую зону, геологическую серию, по размаху значений структурно-прочностных свойств пород разбивают на одинаковое число рангов,

• размах значений структурно-прочностных свойств пород внутри ранга не должен превосходить величины доверительного интервала изучаемого свойства.

Численные значения структурно-прочностных свойств пород, залегающих на глубине 60-100 м, устанавливаются на основе выражений

$$\begin{aligned}\sigma_{сж} &= a_1 \exp(-b_1 \cdot p), \text{ МПа}; \\ d_e &= c - \kappa \cdot p, \text{ м}\end{aligned}\quad (4)$$

где  $\sigma_{сж}$  – временное сопротивление пород сжатию, МПа;  $d_e$  – диаметр средней естественной отдельности, м;  $p$  – ранг геолого-генетических признаков;  $a_1, b_1, c, \kappa$  – эмпирические коэффициенты, значения которых принимаются в соответствии с рекомендациями для пород балахонской серии –  $b_1=0.3$ ;  $\kappa=0.33$ ; для кольчугинской –  $b_1=0.2$ ;  $\kappa=0.32$ ; зна-

Таблица 7. Типизация условий оценки производительности карьерных экскаваторов

Параметры экскавации	Тип экскаватора			
	ЭКГ	ЭКГ-у	ЭГО	ЭШтр
$t_u = \frac{67 \cdot d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11 \cdot E + 0,6}, \text{ с};$ (6)	+			
$t_u = \frac{90 \cdot d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,1E + 0,6}, \text{ с};$ (7)		+	+	
$t_u = \frac{155d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,09E + 0,6}, \text{ с};$ (8)				+
$t_n = \left( \frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{1,67} \cdot \beta_n^2}{E} \right)^{0,33}, \text{ с};$ (9)	+		+	
$t_n = 1,24 \left( \frac{(490 + 4E^{1,66})^{1,66} \cdot \beta_n^2}{E} \right)^{0,33}, \text{ с};$ (10)		+		
$t_n = \left( 1 + \frac{5}{E} \right) \left( \frac{(103E - 300)^{1,66} \cdot \beta_n^2}{E} \right)^{0,33}, \text{ с};$ (11)				+
$K_3 = 0,83 \cdot \exp \left( -2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0,2}} \right);$ (12)	+	+	+	
$K_3 = 0,9 \exp \left( -2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0,2}} \right);$ (13)				+
$K_{me} = \exp \left( -0,45 \left( \frac{d_{cp}}{E^{0,25}} \right)^2 \right);$ (14)	+	+		
$K_{me} = \exp \left( - \left( \frac{d_{cp}}{E^{0,33}} \right)^{1,9} \right);$ (15)			+	+

$\beta_n$  – угол поворота ковша экскаватора, рад.

Таблица 8. Значения коэффициентов  $a$  и  $b$ 

Геологическая серия	Литотипы породы	Поправочные коэффициенты			
		$K_d$		$K_\sigma$	
		Значения эмпирических коэффициентов			
		$a$	$b$	$a$	$b$
Балахонская	П, А,	1,05	12,5	1,1	7,5
	ПК, ПС, ПМ,	1,1	12,5	1,2	15
	ПГ, ПА	1,15	12,5	1,25	17,5
Кольчугинская	П, А	1,1	12,5	1,15	12,5
	ПК, ПС, ПМ, ПГ, ПА АК, АМ, АР	1,25	22,5	1,3	22,5

чения коэффициентов  $a_1$  и  $c$  принимаются в соответствии с данными табл. 6.

Влияние глубины залегания на изучаемые свойства осуществляется поправочными коэффициентами  $K_\sigma$  и  $K_d$

$$K_{\sigma,d} = a - b \cdot H^{-1}, \quad (5)$$

где  $a, b$  – эмпирические коэффициенты (для условий Кузбасса приведены в табл. 8);  $H$  – глубина залегания от поверхности, м.

Формулы, приведенные в табл. 7, рекомендованы [5, 6] для определения основных параметров экскавации ( $t_n, t_b, K_z, K_{ms}$ ) по типам карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород.

Таким образом, количественная оценка технологических возможностей экскаваторов с геометрической емкостью ковша  $B=5-56 \text{ м}^3$  произведена с учетом природных условий достигнутого уровня освоения выемочной техники и является надежной основой для планирования параметров и показателей производственных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ташкинов, А.С. Оценка структуры затрат на буровзрывные и выемочно-погрузочные работы для карьерных экскаваторов / А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, И.А. Ташкинов // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XI Международной науч.-прак. конф. – Кемерово, 2009. – С. 100-103.
2. Ольховатенко, В. Е. Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне / Томск: Изд-во Томского ун-та, 1976. – 211 с.
3. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Книга 1 / А. С. Арцер, С. И. Протасов // Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 1999. – 177 с.
4. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Книга 2 / А. С. Арцер, С. И. Протасов // Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 1999. – 168 с.
5. Бирюков, А. В. Статистические модели в процессах горного производства / А. В. Бирюков, В. И. Кузнецов, А. С. Ташкинов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1996. – 228 с.
6. Комплексная оценка эффективности буровзрывных работ при выемке взорванных пород экскаваторами типа ЭКГ / А. С. Ташкинов [и др.] // Вестник КузГТУ – Кемерово, 2010. - № 2. – С.59-65.

□ Авторы статьи

Ташкинов  
Александр Сергеевич  
докт. техн. наук, проф.  
каф. открытых горных  
работ КузГТУ  
Тел. 8-3843-58-30-59

Протасов  
Сергей Иванович  
канд. техн. наук, зав. каф.  
открытых горных  
работ КузГТУ  
Тел. 8-3843-58-30-59