

УДК 622.732

А. С. Ташкинов, А. А. Сысоев, И. А. Ташкинов, Л. А. Зорина

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ И ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫЕМКЕ ВЗОРВАННЫХ ПОРОД ЭКСКАВАТОРАМИ ТИПА ЭКГ

Эффективная разработка скальных и полускальных пород экскаваторами циклического действия возможна только после их предварительной взрывной подготовки, которая представляет собой ресурсоемкий технологический процесс. В настоящее время на разрезах Кузбасса около 80% общего объема вскрыши разрабатывается с применением буровзрывных работ (БВР). В структуре себестоимости 1 м³ вскрыши доля БВР постоянно растет и достигает 20% и более, а уровень затрат на БВР в значительной мере определяют затраты на взрывные работы (55-65% от затрат на БВР).

Известные рекомендации по обоснованию рациональной величины удельного расхода ВВ разработаны [1] при условии взрывания сухих или слабообводненных пород с применением эталонного ВВ (граммонита 79/21). Предлагается учитывать относительные характеристики ВВ:

– относительную работоспособность через переводной коэффициент эквивалентных зарядов

$$K_{BB} = A_{эм} \cdot A_{BB}^{-1}, \quad (1)$$

– относительную стоимость как

$$П_{BB} = Ц_{BB} \cdot Ц_{ЭТ}^{-1}, \quad (2)$$

– относительную эффективность на основе выражения

$$Э_{BB} = K_{BB} \cdot П_{BB}. \quad (3)$$

Здесь K_{BB} – переводной коэффициент эквивалентных зарядов; $A_{ЭТ}$, A_{BB} – полная идеальная работа взрыва соответственно эталонного и рас-

считываемого ВВ, кДж/кг; $Ц_{ЭТ}$, $Ц_{BB}$ – цена 1 кг соответственно эталонного и рассматриваемого ВВ, р; $П_{BB}$, $Э_{BB}$ – показатель относительных соответственно стоимости и эффективности ВВ.

Структура показателя $Э_{BB}$ отражает основные направления совершенствования ВВ – повышение их работоспособности при одновременном снижении стоимости.

Ассортимент ВВ, применяющихся на разрезах Кузбасса, характеризуется достаточно широким диапазоном изменения показателя относительной эффективности $Э_{BB}$ (табл. 1). По этому критерию можно выделить три группы ВВ: с показателем эффективности $Э_{BB} < 1$, с показателем эффективности $Э_{BB} = 1$ и показателем эффективности $Э_{BB} > 1$. Первая группа представлена бестроиловыми ВВ в виде смеси гранулированной АС и ДТ, с добавками алюминия и другими твердыми горючими добавками, а также с добавками гранулолола (не более 10%). Вторая группа ВВ представлена смесями гранулированной АС и гранулолола (15-20%). Третья группа представлена тротилодержателями смесями с высоким содержанием гранулолола (50% и более).

Оценка эффективности применения различных типов ВВ осуществлялась по минимуму затрат на буровзрывные и выемочно-погрузочные работы при широком диапазоне варьирования природных, технических и технологических условий ведения горных работ. Так крепость пород изменялась в пределах $f = 3-12$, вместимость ковша экскаватора $E = 5-56$ м³, диаметр скважин $d =$

Таблица 1. Относительные характеристики ВВ

Тип ВВ		Относительные характеристики		
		Работоспособности K_{BB}	Стоимости $П_{BB}$	Эффективности $Э_{BB}$
Игданит		1,13	0,34	0,38
Гранулиты:	НП	1,12	0,42	0,47
	УП - 1 (местного изготовления)	1,12	0,5	0,56
	УП - (заводской)	1,12	0,61	0,68
Граммонит ТК - 5		1,12	0,67	0,75
Сибирит (1200, 1500)		1,29	0,6	0,77
Граммонит ТК - 10		1,06	0,76	0,8
Граммонит ТКЗ – 15		1,03	0,96	0,99
Граммонит 79/21 (эталон)		1,0	1,0	1,0
Эмульсолит (П, А - 20)		1,2	0,88	1,06
Граммонит 30/70		1,13	1,92	2,17
Гранулолол		1,2	2,56	3,07

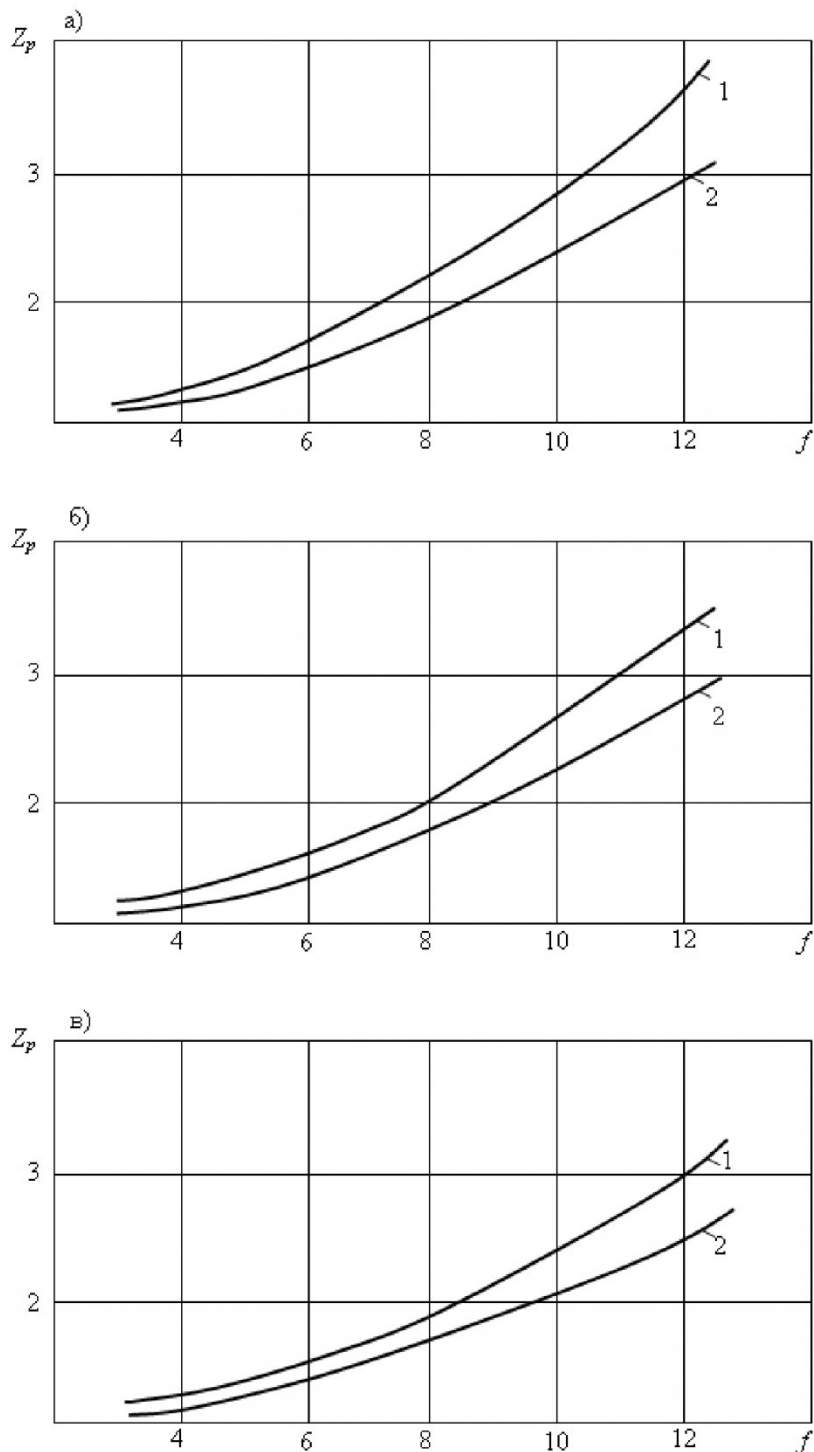


Рис. 1. Изменение рациональной степени взрывного дробления от крепости пород: а, б, в – при применении ВВ соответственно гранулита УП-1, граммонита 79/21, граммонита 30/70; 1, 2 – при вместимости ковша соответственно 5 и 56 м³.

0,171-0,269 м; в качестве базовых ВВ приняты: гранулит УП - 1 местного изготовления (первая группа ВВ), граммонит 79/21 (вторая группа ВВ), граммонит 30/70 (третья группа ВВ).

Анализ результатов расчета показал, что рациональная степень Z_p взрывного дробления пород, оцениваемая отношением диаметра средней

естественной отдельности d_e к диаметру среднего куска породы в развале d_{cp} , для экскаваторов – мехлопат аппроксимируется [2] выражением

$$Z_p = 1 + \frac{d_e^2}{\mathfrak{E}_{ВВ}^{0,25} + E^{0,2}} \quad (4)$$

Следовательно, группа основных факторов,

определяющих рациональную степень взрывного дробления пород угольных месторождений по минимуму затрат на буровзрывание и выемочно-погрузочные работы, включает диаметр средней естественной отдельности, вместимость ковша экскаватора, энергетические и стоимостные характеристики ВВ.

Изменение рациональной степени взрывного дробления от крепости пород, вместимости ковша экскаватора и типа ВВ показано на рис. 1.

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

- для экскаваторов с вместимостью ковша $E = 5 \text{ м}^3$ изменение крепости пород с 3 до 12 обуславливает целесообразность увеличения рациональной степени взрывного дробления с 1,17 до 3,73 (при применении гранулита УП - 1); с 1,15 до 3,42 (при применении граммонита 79/21) и с 1,13 до 3,05 (при применении граммонита 30/70);

- для экскаваторов с вместимостью ковша $E = 56 \text{ м}^3$ изменение крепости пород с 3 до 12 обуславливает целесообразность увеличения рациональной степени взрывного дробления с 1,12 до 2,94 (при применении гранулита УП - 1); с 1,11 до 2,78 (при применении граммонита 79/21) и с 1,1 до 2,57 (при применении граммонита 30/70);

- при прочих равных условиях рациональная степень взрывного дробления пород с применением ВВ, имеющих $\mathcal{E}_{ВВ} = 1$ (граммонит 79/21), ниже, чем при ВВ с $\mathcal{E}_{ВВ} < 1$ (гранулит УП - 1) и выше, чем при ВВ, имеющих $\mathcal{E}_{ВВ} > 1$ (граммонит 30/70).

Количественную оценку крупности дробления делают на основе гранулометрических характеристик. Для практических целей крупность дробления целесообразно

целесообразно характеризовать числовой характеристикой, которую удобно использовать в технологических расчетах. Для количественной оценки результатов взрыва широко используют средневзвешенный (по объему) диаметр куска как среднюю числовую характеристику крупности взорванной горной массы ($d_{ср}$). Изменение рационального качества взрывного дробления ($d_{ср,p}$) от крепости пород, вместимости ковша экскаватора и типа ВВ показано на рис. 2.

Выявлена (см. рис. 2) общая закономерность поведения $d_{ср,p}$: при крепости пород $3 \leq f \leq 8$ значения $d_{ср,p}$ возрастают (в 1,4 – 1,7 раза) для всех рассматриваемых условий разработки, а при $f > 8$ убывают (в 1,05 – 1,1 раза). Следовательно, при разработке пород IV - V категорий блочности целесообразность интенсификации их взрывного дробления возрастает.

Практикой взрывного дела, исследованиями в этой области установлено, что наиболее мощными рычагами управления качеством (степенью) взрывного дробления пород являются удельный расход ВВ и диаметр скважин. Удельный расход ВВ, от которого зависит полный запас энергии заряда, оказывает определяющее влияние на раз-

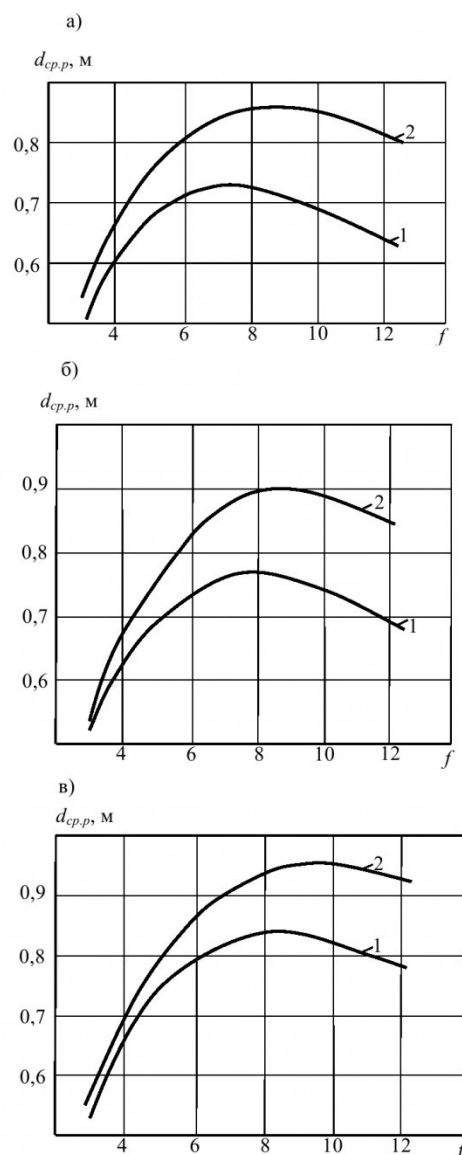


Рис. 2. Изменение рационального качества взрывного дробления пород от их крепости: а, б, в – при применении ВВ соответственно гранулита УП-1, граммонита 79/21, граммонита 30/70; 1, 2 – при вместимости ковша соответственно 5 и 56 м³.

рушающее действие взрыва и качество дробления пород. Опыт взрывных работ свидетельствует о том, что изменение удельного расхода ВВ позволяет в широких пределах изменять степень дробления пород.

Влияние диаметра скважин на качество дробления пород проявляется через равномерность распределения ВВ в массиве и существенно зависит от диаметра средней естественной отдельности. Для условий угольных месторождений предложена модель взрывного дробления пород [1], технологическая структура, которой достаточно полно отражает отмеченные выше особенности:

$$d_{ср} = 5dd_e(5d + qd_e)^{-1}, \text{ м}; \quad (5)$$

где d_{cp} – диаметр среднего куска взорванной горной массы, м;

d_e – диаметр средней естественной отдельности, м;

d – диаметр скважин, м;

q – удельный расход ВВ, кг/м³.

Тогда удельный расход ВВ, необходимый для обеспечения рационального качества взрывного дробления пород (q_p), определится из выражения:

$$q_p = \left(\frac{1}{d_{cp}} - \frac{1}{d_e} \right) 5d, \text{ кг/м}^3. \quad (6)$$

Следовательно, на основе выражения (6) предоставляется возможность определять значения удельного расхода ВВ, необходимого для обеспечения рационального качества взрывного дробления пород при разработке их экскаваторами – мехлопатами типа ЭКГ с учетом типа ВВ, структурно – прочностных характеристик пород, диаметра скважин и вместимости ковша экскаватора.

Поведение рационального удельного расхода ВВ характеризуется следующими особенностями:

– удельный расход ВВ, имеющих $\mathcal{E}_{ВВ} < 1$ (гранулит УП - 1), целесообразно увеличивать на 10 - 15%, а для ВВ, имеющих $\mathcal{E}_{ВВ} > 1$ (граммонит 30/70), уменьшать на 15 - 20% в сравнении с ВВ, имеющим $\mathcal{E}_{ВВ} = 1$ (граммонит 19/21);

– при изменении диаметра скважин от 0,171 до 0,269 м рациональные значения удельного расхода ВВ возрастают в 1,55 - 1,6 раза;

– выявлена закономерность изменения q_p от крепости пород, количественную оценку которой можно дать на основе выражения общего вида:

$$q_p = f \cdot \Delta q, \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

где f – коэффициент крепости пород по Протодьяконову;

Δq – шаг изменения q_p , приходящегося на единицу коэффициента крепости пород, кг/м³; величина параметра Δq зависит от типа ВВ, диаметра скважин, вместимости ковша экскаватора.

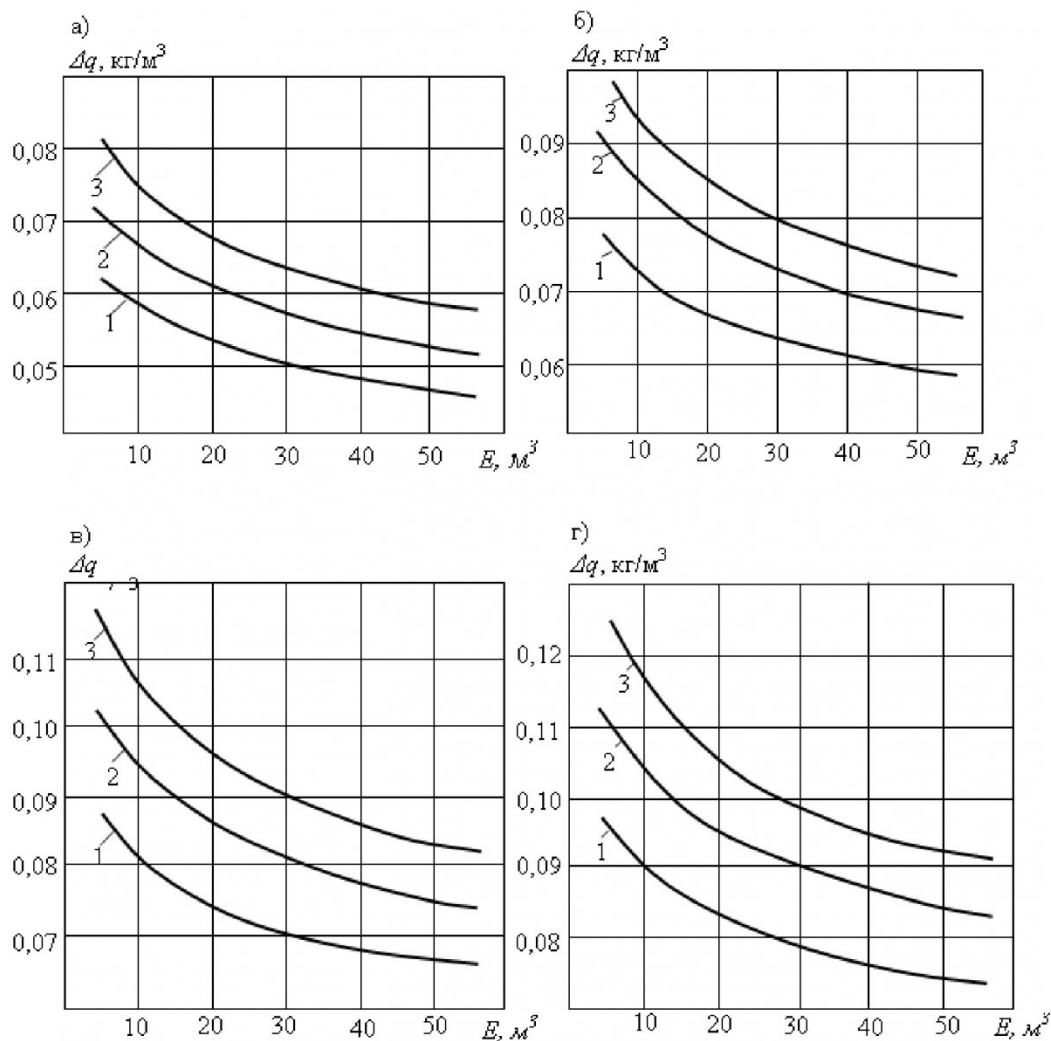


Рис. 3. Изменение параметра Δq от вместимости ковша экскаватора:

а, б, в, г – при диаметре скважин соответственно 0,171; 0,216; 0,244 и 0,269 м;

1, 2, 3 – при применении в качестве ВВ соответственно граммонита 30/70, граммонита 79/21, гранулита УП - 1.

Таблица 2. Относительные размеры затрат на БВР (относительно граммонита 79/21) по типам ВВ

Тип ВВ	Крепость пород	Диаметр скважин, м			
		0,171	0,216	0,244	0,269
Гранулит УП – 1 ($\mathcal{E}_{ВВ} < 1$)	3	0,69	0,66	0,64	0,63
	12	0,8	0,76	0,74	0,72
Граммонит 30/70 ($\mathcal{E}_{ВВ} > 1$)	3	1,47	1,51	1,53	1,55
	12	1,32	1,39	1,42	1,45

Таблица 3. Относительные размеры затрат на буровые работы (в % от $C_{БВР}$) при рациональном удельном расходе ВВ

Тип ВВ	Крепость пород	Диаметр скважин, м			
		0,171	0,216	0,244	0,269
Гранулит УП – 1	3	39	32	29	25
	12	63	54	50	46
Граммонит 79/21	3	24	19	16	14
	12	45	37	33	29
Граммонит 30/70	3	14	11	9	8
	12	30	22	20	18

Изменение параметра Δq от вместимости ковша экскаватора показано на рис.3.

Для оперативного управления комплексом работ по подготовке скальных и полускальных пород к выемке необходимо дать оценку структуре затрат на БВР. Анализ показал, что в зависимости от крепости пород и диаметра скважин, при рациональном удельном расходе ВВ, стоимость БВР изменяется в 5,5 - 6,7 раза при применении в качестве ВВ гранулита УП - 1; в 4,9 - 5,7 раза – при применении граммонита 79/21; в 4,6 - 5,2 раза – при применении граммонита 30/70.

При прочих равных условиях, в зависимости от типоразмера экскаваторного оборудования, $C_{БВР}$ изменяется в 1,3 - 1,4 раза. Изменение размеров затрат на БВР по типам ВВ показано в табл. 2.

Следовательно, главными факторами, определяющими стоимость БВР, являются удельный расход ВВ, диаметр скважин и тип ВВ. При анализе эффективности БВР обоснованию этих параметров следует уделять особое внимание. Результаты анализа по оценке эффективности буровых работ представлены в табл. 3.

Производительность экскаваторов – один из важнейших показателей эффективности открытых горных работ, который определяет парк основного горнотранспортного оборудования, производительность труда и затраты на производство горных работ. Различают паспортную, техническую и эффективную производительность [3].

Паспортная производительность Q_o зависит только от конструктивных факторов (мощность двигателей, линейные размеры рабочего оборудования, расчетные размеры и форма экскавирующего органа, кинематической схемы, расчетно-конструктивных скоростей движения рабочего органа) и определяется из выражения:

$$Q_o = (3600/t_o)E, \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad (8)$$

где t_o – паспортная продолжительность рабочего цикла выемочной машины, с;

E – геометрическая вместимость ковша, м^3 .

Паспортная производительность – основа для определения других категорий производительности и служит для сравнения отдельных видов и типоразмеров между собой.

Техническая производительность Q_m является наибольшей возможной часовой производительностью выемочной машины при непрерывной ее работе в конкретных горнотехнических условиях. В общем виде техническая производительность выемочной машины определяется как

$$Q_o = (3600E/t_u)K_{\mathcal{E}}, \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad (9)$$

где t_u – минимальная продолжительность рабочего цикла выемочной машины в конкретных условиях, с;

$K_{\mathcal{E}}$ – коэффициент экскавации.

Рабочий цикл включает три основные операции: время черпания ($t_{\text{ч}}$), время поворотов ковша от забоя к месту разгрузки и обратно ($t_{\text{н}}$) и разгрузки ковша ($t_{\text{р}}$).

Эффективная производительность $Q_{\text{эф}}$ является максимальной часовой эксплуатационной производительностью выемочной машины в конкретных горнотехнических условиях. Она учитывает как условия работы, так и затраты времени на вспомогательные операции (перемещение экскаватора в процессе отработки заходки, обработка негабаритных отдельных частей, управляемое обрушение навесей и козырьков и др.). В общем виде эффективная производительность определяется из выражения:

$$Q_{\text{эф}} = Q_m \cdot K_{\text{тв}}, \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad (10)$$

где $K_{\text{тв}}$ – коэффициент влияния технологии выемки, структура которого соответствует выражению

$$K_{me} = t_o / (t_o + t_{ecn}); \quad (11)$$

где t_o – время основной работы (выемочно-погрузочных операций) в пределах забойного блока, с;

t_{ecn} – суммарное время вспомогательных операций в пределах забойного блока, с.

Основные параметры экскавации (t_u , t_n , K_3 , K_{me}) при разработке взорванных пород карьерными экскаваторами типа ЭКГ в соответствии с рекомендациями [1, 4] описываются следующими выражениями:

– время черпания

$$t_u = \frac{67d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6}, \text{ с}; \quad (12)$$

– суммарное время поворотов в пределах рабочего цикла

$$t_n = \left(\frac{(35E + 0,42E^2)^{1,67} \cdot \beta_n^2}{E} \right)^{0,33}, \text{ с}; \quad (13)$$

– коэффициент экскавации

$$K_3 = 0,83 \cdot \exp \left(-2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0,2}} \right); \quad (14)$$

– коэффициент влияния технологии выемки

$$K_{me} = \exp \left(\left(-0,45 \frac{d_{cp}}{E^{0,25}} \right)^2 \right). \quad (15)$$

Здесь d_{cp} – диаметр среднего куска взорванной массы, м;

β_n – угол поворота экскаватора, рад.

В расчетах приняты: $t_{cp} = 3$ с, $\beta_n = 1,57$ рад. Параметры базовых моделей экскаваторов приведены в табл. 4.

В соответствии с изложенными выше положениями были произведены расчеты по оценке производительности экскаваторов типа ЭКГ при рациональном качестве дробления пород. Анализ их позволяет сделать следующие выводы.

Наиболее сильное влияние на производитель-

ность экскаваторов оказывают крепость пород, типоразмер выемочного оборудования (модель экскаватора) и показатель относительной эффективности ВВ ($\mathcal{E}_{ВВ}$).

Так при применении гранулита УП - 1 ($\mathcal{E}_{ВВ} < 1$) с достижением рациональных значений удельного расхода ВВ обеспечивается повышение производительности экскаваторов в следующих пределах: в породах II категории блочности – на 3-11%, а в породах III-V категорий блочности – на 8-18% (в сравнении с граммонитом 79/21).

При применении в этих же условиях граммонита 30/70 ($\mathcal{E}_{ВВ} > 1$) с рациональными значениями удельного расхода ВВ наблюдается снижение (в сравнении с граммонитом 79/21) производительности экскаваторов: в породах II категории блочности – на 4-18%, в породах III-V категорий блочности – на 13-31%.

Результаты расчетов позволили дать количественную оценку изменения производительности экскаваторов от крепости пород.

Было установлено, что для всех типоразмеров выемочного оборудования с увеличением крепости разрабатываемых пород до $f \leq 8$ производительность снижается до некоторого значения Q_{min} , а затем снова возрастает (при $f > 8$). Результаты такого анализа (размах колебаний) приведены в табл. 5.

Стоимость экскавации определялась по выражению общего вида

$$C_3 = \frac{C_{mc}^3}{Q_{cm}^3}, p / \text{м}^3; \quad (16)$$

где C_{mc}^3 – стоимость машиносмены экскаватора.

Данные о стоимости машиносмен приведены в табл. 6. В расчетах принимались: продолжительность смены $T_{cm} = 12$ ч, коэффициент использования экскаватора на основной работе в течение смены $K_u = 0,91$.

Анализ показал, что стоимость экскавации, при рациональном качестве дробления пород, зависит от их крепости, типоразмера экскаваторного оборудования (модель экскаватора) и косвенно, через рациональное качество дробления пород,

Таблица 4. Базовые модели экскаваторов

Параметры	Значения						
	5	10	15	20	25	30	56
Вместимость ковша, м ³	5	10	15	20	25	30	56
Базовая модель	ЭКГ-5	ЭКГ-10	ЭКГ-15	ЭКГ-20	РН 2300 ХРВ	РН 2800 ХРВ	РН 4100 ХРВ
Рабочая масса, т	211	395	672	1075	704	1033	1458
Удельная масса, т/м ³	42,2	39,5	44,8	53,7	28,2	34,4	25,9
Паспортная продолжительность цикла ($\beta_n = 1,57$ рад.), с	23	26	28	28	28	32	–
Наибольшие:							
– радиус черпания, м	15,5	18,4	22,6	23,4	21,4	23,9	23,8
– высота черпания, м	12,9	13,5	16,4	17,0	15,5	16,2	18,1
– радиус разгрузки, м	13,7	16,3	19,5	20,9	18,6	20,9	20
– высота разгрузки, м	9,0	8,6	10,2	11,5	10,1	9,5	10,4

Таблица 5. Изменение относительной производительности экскаватора (Q_{max}/Q_{min}) от крепости пород при рациональном качестве их дробления

Тип ВВ	Крепость пород									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Гранулит УП-1	1,49	1,33	1,19	1,08	1,02	1,0	4,02	1,09	1,1	1,16
Граммонит 79/21	1,67	1,48	1,29	1,13	1,04	1,0	1,01	1,04	1,1	1,16
Граммонит 30/70	2,08	1,81	1,52	1,27	1,12	1,03	1,0	1,02	1,08	1,15

Таблица 6. Стоимость машиносмены экскаваторов типа ЭКГ

Вместимость ковша, м ³	5	10	15	20	25	30	56
Стоимость машиносмены, тыс.р	9,5	20	32	49	64	81	162

стоимость экскавации зависит от типа применяемого ВВ.

Установлено, что при применении гранулита УП-1 в породах крепостью $f = 6-8$ стоимость экскавации снижается (в сравнении с эталонным ВВ граммонит 79/21) на 5-17% в зависимости от условий работы.

При применении граммонита 30/70 в породах крепостью $f = 8-12$ стоимость экскавации повышается (в сравнении с эталонным ВВ граммонит 79/21) на 18-35%.

Таким образом, результаты выполненного анализа позволяют сделать следующие выводы:

- группа основных факторов, определяющих рациональную степень взрывного дробления пород угольных месторождений по минимуму затрат на буровзрывные и выемочно-погрузочные работы, включает диаметр средней естественной отдельности, вместимость ковша экскаватора, энергетические и стоимостные характеристики ВВ;

- значения удельного расхода ВВ, необходимого для обеспечения рационального качества дробления пород, определены на основе модели взрывного дробления, успешно апробированной в производственной и проектной практике, с учетом типа ВВ, структурно-прочностных характеристик пород, диаметра скважин и вместимости ковша экскаватора;

- выявлены значения шага удельного расхода ВВ, приходящегося на единицу коэффициента крепости пород по шкале М.М. Протоdjяконова;

- главными факторами, определяющими стоимость БВР, являются удельный расход ВВ, диаметр скважин, тип ВВ и типоразмер выемочного оборудования;

- наиболее сильное влияние на производительность экскаваторов оказывают крепость пород, вместимость ковша и показатель относительной эффективности ВВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буровзрывные работы на угольных разрезах / Н.Я. Репин [и др.]. – М.: Недра, 1987. – 254 с.
2. Ташкинов, А.С. К оценке производительности карьерных экскаваторов большой единичной мощности при разработке взорванных пород / 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. 104-108.
3. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Часть 1: Учебник для вузов. – 4-е изд., пер. и доп. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
4. Ташкинов, А.С. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород / А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, И.А. Ташкинов // Вестн. Кузбасс. гос. техн. ун-та. 2009. №4. С. 17-20.

□ Авторы статьи:

Ташкинов
Александр Сергеевич
– докт. техн. наук, проф.
каф. открытых горных
работ КузГТУ,
тел. 8-3842-39-63-68.

Сысоев
Андрей Александрович
– докт. техн. наук, проф.
каф. открытых горных
работ КузГТУ,
тел. 8-3842- 39-63-68.

Ташкинов
Игорь Александрович
– соискатель каф. откры-
тых горных работ
КузГТУ,
тел. 8-3842- 39-63-68.

Зорина
Любовь Андреевна
– студентка гр. ГО – 052
КузГТУ,
тел. 8-3842-39-63-68.