

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.271.4

А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, И.А. Ташкинов

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЗОРВАННЫХ ПОРОД

Прямые механические лопаты верхнего черпания (ЭКГ) – наиболее представительный вид выемочно-погрузочного оборудования на разрезах Кузбасса. Они характеризуются высоким усилием черпания и прочностью рабочего оборудования, что наряду с высокой удельной массой (масса, приходящаяся на 1 м³ геометрической вместимости ковша) 39,5-52 т/м³, допускает возможность ведения выемочных работ в стопорном режиме. Последнее очень важно при обработке негабаритных отдельностей, обрушении горной массы в забое, обработке вновь образованного откоса участка.

Мехлопаты типа ЭКГ особенно эффективны

большой единичной мощности ($E=30-56 \text{ м}^3$) в сочетании с большегрузным автотранспортом (грузоподъемностью 220-320 т) и масштабное внедрение обратных гидравлических лопат (ЭГО) в сложных горно-геологических условиях. Технические параметры ЭГО, применяющихся на разрезах Кузбасса, приведены в табл. 1.

Обратные гидравлические лопаты в сравнении с прямыми мехлопатами обладают более широкими технологическими возможностями, т.к. могут осуществлять наполнение и разгрузку ковша выше, ниже и на уровне стояния экскаватора, что позволяет эффективно использовать их в сложных горно-геологических условиях. При этом необхо-

Таблица 1. Технологические параметры обратных гидравлических лопат фирмы «Либхерр»

Параметры	Геометрическая вместимость ковша, м ³					
	5,2	6	7,5	10,3	13,8	20,6*
Глубина черпания, м	7,9	7,9	7,9	8,7	9,5	9,2
Высота черпания, м	14	14	14	15,6	15,4	17
Радиус черпания, м	15	15	15	16	17	19,5
Высота разгрузки, м	9,2	9,2	9,2	10,3	10,2	11,5
Паспортная продолжительность цикла при $\beta = 90^\circ$, с	23	24	25	28	31	34
Масса, т	120	120	120	230	300	535
Удельная масса, т/м ³	23,1	20	16	22,3	21,7	26

* фирма «Терекс»

при выемке взорванных скальных и полускальных пород и могут работать в сочетании с любым видом карьерного транспорта. Их основной недостаток – цикличность рабочего процесса. Так на разрезах Кузбасса, в зависимости от условий работы, на черпание затрачивается 25-40 % общего времени цикла.

За последние годы номенклатура экскаваторного парка на разрезах Кузбасса сильно изменилась за счет приобретения экскаваторной техники зарубежных фирм – изготовителей («Марион», «Харнишфегер», «Катерпиллер», «Вольво», «Либхерр», «Терекс» и др.). В настоящее время для выемочно-погрузочных работ при транспортной технологии на разрезах Кузбасса используются карьерные экскаваторы с геометрической вместимостью ковша (E) от 4-5 до 56 м³. Четко обозначились два направления совершенствования выемочных работ: применение экскаваторов

димо отметить, что эффективность работы экскаваторов типа ЭГО при разработке взорванных пород определяющим образом зависит от качества их дробления, степени разрыхления, наличия во взорванной горной массе крупнокусковых фракций (+1,4 м), а сами выемочные машины типа ЭГО, в связи с низкой удельной массой, не допускают стопорного режима работы.

Следовательно, скальные и полускальные горные породы перед выемкой необходимо подвергать технологической подготовке, которая заключается в выполнении комплекса буровзрывных работ (БВР) с последующей оценкой ожидаемого качества подготовки пород, и стоимостных затрат на производство БВР, а также оценке ожидаемых параметров и стоимости выемочно-погрузочных работ.

Наиболее универсальной характеристикой оценки крупности взрывного дробления пород

является средневзвешенный по объему диаметр кусков (d_{cp} , м). Для условий угольных месторождений предложена [1] технологическая структура модели взрывного дробления пород, которая имеет вид:

$$d_{cp} = 5d \cdot d_e (5d + qd_e)^{-1}, \quad (1)$$

где d – диаметр скважины, м; d_e – средневзвешенный по объему диаметр естественной отдельности, м; q – удельный расход ВВ, кг/м³.

Если учесть [2], что $d_c = 0.2 f$, где f – коэффициент крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова, то представляется возможность давать количественную оценку ожидаемого качества дробления пород при изменении главных параметров технологической подготовки – удельного расхода ВВ (q , кг/м³), диаметра скважин (d , м), крепости пород (f).

Производительность экскаваторов – один из важнейших показателей эффективности открытых горных работ. Для дифференцированной оценки влияния конструктивных особенностей выемочной техники и технических условий ведения горных работ различают [3] паспортную, техническую и эффективную производительность. Если паспортная производительность зависит только от конструктивных особенностей выемочной техники, то техническая производительность учитывает конкретные условия работы. Эффективная производительность учитывает как условия работы, так и затраты времени на вспомогательные операции (перемещение экскаватора в процессе отработки заходки, обработка негабаритных отдельностей, управляемое обрушение нависей и козырьков и др.). Следовательно, для определения производительности экскаваторов необходимо знать закономерности изменения параметров эффективности процесса экскавации при разработке взорванных пород: фактическую (техническую) продолжительность цикла (t_T), коэффициент экскавации (K_E), коэффициент влияния технологии выемки (K_{TB}).

Продолжительность экскаваторного цикла (t_D) при совмещении ряда вспомогательных операций определяется из выражения общего вида:

$$t_D = t_Q + t_P + t_R, \quad (2)$$

где t_Q – время черпания, с; t_P – суммарная продолжительность поворотных операций к месту разгрузки и обратно в забой, с; t_R – время разгрузки, с.

Основной составляющей цикла, непосредственно зависящей от качества дробления пород, является время черпания. На основании ранее выполненных экспериментальных исследований установлено [2], что для экскаваторов типа ЭКГ влияние качества дробления пород на время черпания определяется как

$$t_Q = \frac{67d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0.11E+0.6}, \quad (3)$$

где E – геометрическая вместимость ковша экскаватора, м³.

Специальные хронометражные наблюдения за работой экскаваторов типа ЭГО показали, что для этого типа выемочных машин ($E = 5,2\text{--}20,6$ м³; экскаваторы фирм «Либхерр» и «Терекс») влияние качества дробления пород на время черпания достаточно адекватно (среднее квадратическое отклонение расчетных значений времени черпания от экспериментальных составляет 12,5 %) описывается на основе выражения:

$$t_Q = \frac{90d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0.11E+0.6}. \quad (4)$$

Анализ результатов расчета по формулам (3) и (4) показал, что при прочих равных условиях, время наполнения ковша у экскаваторов типа ЭГО больше в сравнении с экскаваторами типа ЭКГ на 12–22%.

Продолжительность поворотных операций для экскаваторов типа ЭКГ с нормальным рабочим оборудованием может быть определена по формуле (2):

$$t_P = \left(\frac{(35E+0.42E^2)^{1.67} \beta_P^2}{E} \right)^{0.33}, \quad (5)$$

где β_P – угол поворота экскаватора, рад.

Формула (5) учитывает как энергоооруженность выемочной машины, так и особенности поворотных операций: опасность поломки ковша при ударе о забой, необходимость выбрать место в забое для наполнения ковша, подача ковша на забой, необходимость обеспечить точное место разгрузки ковша – замедляют поворотные операции. Оценка совокупного влияния указанных выше технологических особенностей поворотных операций на их продолжительность проведена на основе результатов наблюдений за работой экскаваторов типа ЭГО в промышленных условиях с применением видеосъемки в режиме реального времени. Анализ показал, что среднеквадратическое отклонение расчетных значений t_P по формуле (5) от экспериментальных составляет 6,4 % при максимальном 12,9 %. Следовательно, формула (6) может быть рекомендована для расчетов продолжительности поворотных операций при использовании экскаваторов типа ЭГО.

На основании результатов хронометражных наблюдений установлено, что для определения времени разгрузки ковша (t_R) можно использовать следующие рекомендации: $t_R = 3$ с – для экскаваторов типа ЭКГ; для экскаваторов типа ЭГО – $t_R = 4$ с (при $E \leq 10$ м³), $t_R = 5$ с (при $E > 10$ м³).

Поведение времени черпания и продолжительности цикла при изменении качества дробле-

ния пород и разработке их экскаваторами типа ЭКГ и ЭГО показано в табл. 2 и 3.

Эффективность использования геометрической вместимости ковша экскаватора оценивается коэффициентом экскавации ($K_{\mathcal{E}}$). При проведении хронометражных наблюдений за работой экскаваторно-автомобильных комплексов кроме временных параметров (t_Q , t_T , t_T) фиксировали качество дробления пород в забое, количество ковшей для загрузки одного автосамосвала, количество погруженных транспортных единиц, а маркшейдерским замером устанавливался фактический объем отгруженной горной массы. Анализ результатов промышленных наблюдений позволил предложить формулу для определения коэффициента экскавации, которая имеет вид:

$$K_{\mathcal{E}} = 0.83 \exp \left(-2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0.2}} \right) \quad (6)$$

Сопоставление экспериментальных значений коэффициента экскавации с расчетными показало, что отклонение не превышает 10-12 %. Это дает основание рекомендовать предлагаемую формулу (6) к использованию в технико-экономических расчетах при применении экскаваторов типа ЭКГ и ЭГО.

Влияние вспомогательных операций на производительность экскаваторов оценивается через коэффициент влияния технологии выемки (K_{TB}). Для качественной оценки K_{TB} использованы данные, представленные в работе [3], которые аппроксимированы в следующем виде:

$$K_{TB} = \exp \left(-0.45 \frac{d_{cp}^2}{E^{0.5}} \right). \quad (7)$$

Выражение (8) рекомендуется к применению

Таблица 2. Изменение времени черпания и продолжительности цикла от качества дробления пород при разработке их экскаваторами типа ЭКГ ($\beta_{\Pi} = 90$)

d_{cp} , м	$E = 5 \text{ м}^3$		$E = 10 \text{ м}^3$		$E = 20 \text{ м}^3$	
	t_Q , с	t_T , с	t_Q , с	t_T , с	t_Q , с	t_T , с
0,4	6,5	23,6	7,0	26,9	7,7	31,5
0,5	7,7	24,8	7,6	27,5	8,0	31,8
0,6	9,2	26,3	8,3	28,2	8,4	32,2
0,7	10,9	28,0	9,2	29,1	8,8	32,7
0,8	12,9	30,0	10,2	30,1	9,3	33,2

Таблица 3. Изменение времени черпания и продолжительности цикла от качества дробления пород при разработке их экскаваторами типа ЭГО ($\beta_{\Pi} = 90$)

d_{cp} , м	$E = 5,2 \text{ м}^3$		$E = 10,3 \text{ м}^3$		$E = 20,6 \text{ м}^3$	
	t_Q , с	t_T , с	t_Q , с	t_T , с	t_Q , с	t_T , с
0,4	7,4	25,6	7,7	29,8	8,4	34,5
0,5	9,0	27,2	8,5	30,6	8,8	34,9
0,6	10,9	29,1	9,5	31,5	9,3	35,4
0,7	13,1	31,4	10,5	32,7	9,9	36,0
0,8	15,7	33,9	11,9	34,0	10,5	36,6

Таблица 4. Изменение K_{TB} от качества дробления пород

d_{cp} , м	$E = 5 \text{ м}^3$		$E = 10 \text{ м}^3$		$E = 20 \text{ м}^3$	
	ЭКГ	ЭГО	ЭКГ	ЭГО	ЭКГ	ЭГО
0,4	0,97	0,94	0,98	0,96	0,98	0,97
0,5	0,95	0,91	0,97	0,94	0,98	0,96
0,6	0,93	0,87	0,95	0,92	0,96	0,94
0,7	0,91	0,83	0,93	0,89	0,95	0,93
0,8	0,88	0,79	0,91	0,86	0,94	0,91

Таблица 5. Сравнительная оценка эффективной производительности ($Q_{\text{эф}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$) экскаваторов типа ЭКГ и ЭГО

d_{cp} , м	$E = 5 \text{ м}^3$		$E = 10 \text{ м}^3$		$E = 20 \text{ м}^3$	
	ЭКГ	ЭГО	ЭКГ	ЭГО	ЭКГ	ЭГО
0,4	604	562	1073	977	7843	1719
0,5	548	500	1009	908	1768	1629
0,6	473	416	912	817	1642	1512
0,7	379	321	775	685	1448	1330
0,8	272	227	599	518	1179	1071
0,9	167	136	405	345	854	760

*) $\beta_{\Pi} = 90^\circ$

Данные табл. 5 рекомендуются к использованию для обоснования параметров технологических схем выемочно-погрузочных работ при разработке взорванных пород экскаваторами типа ЭКГ и ЭГО в условиях угольных разрезов. Анализические зависимости по обоснованию параметров экскавации рекомендуются к использованию в технико-экономических расчетах.

Выводы

1. В настоящее время на разрезах Кузбасса наблюдается два направления совершенствования выемочно-погрузочных работ: применение экскаваторов большой единичной мощности в сочетании с большегрузными автосамосвалами и масштабное внедрение обратных гидравлических лопат в сложных горно-геологических условиях. Парк основного технологического оборудования

пополняется, главным образом, за счет приобретения техники зарубежных заводов-изготовителей, содержание которой сопряжено с высоким эксплуатационными расходами.

2. Производительность экскаваторов – важнейший показатель эффективности открытых горных работ. Технически достижимый уровень производительности определяется условиями работы, типом выемочной техники и совокупно реализуется через параметры экскавации (t_T , $K_{\mathcal{E}}$, K_{TB}), количественная оценка которым дана на основе изучения их поведения в промышленных условиях.

3. При оценке эффективности выемочных работ установлено, что эффективная производительность экскаваторов типа ЭКГ выше в сравнении с экскаваторами типа ЭГО на 7-23 % в зависимости от условий работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков А.В. Статистические модели горного производства / А.В. Бирюков, В.И. Кузнецов, А.С. Ташкинов. – Кемерово: Кузбассвязиздат, 1996. – 228 с.
2. Репин Н.Я. Буровзрывные работы на угольных разрезах / Н.Я. Репин, В.П. Богатырев, В.Д. Буткин и др. – М.: Недра, 1987. – 254 с.
3. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть 1: Учебник для вузов. – 4-е изд. пер. и доп. – М.: Недра, 1985. – 509 с.

□ Авторы статьи:

Ташкинов

Александр Сергеевич

- докт. техн. наук, проф. каф. открытий горных работ КузГТУ.
раб. тел. 8-342- 58-30-59

Сысоев

Андрей Александрович

- докт. техн. наук, проф. каф. открытий горных работ КузГТУ
раб. тел. 58-30-59,
saa.ormpi@kuzstu.ru

Ташкинов

Игорь Александрович

- горный инженер,
ЗАО «Сибирский деловой союз»
Тел. 8-342- 58-30-59