

УДК 622.271.4:621.879.48

В.М. МАКАРОВ, А.Л. ГРИФФЕН, канд. техн. наук (Інститут общей енергетики НАН України, Київ), А.В. КАРПЕНКО (УкрНИИпроект, Київ)

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСКАВАЦИИ РОТОРНЫМ ЭКСКАВАТОРОМ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

Приведены результаты сравнительного анализа применения прогрессивной технологии добычи угля с перекрестной схемой разрушения забоя роторным экскаватором ЭРП-2500 и базовой схемой раздельного резания.

Открытый способ добычи полезных ископаемых является, на данный момент наименее затратным, обеспечивающим наиболее высокие экономические показатели горных предприятий. Не случайно его доля в общем объеме добычи угля в России достигла 64,1 % и продолжает расти. Многие полезные ископаемые, в том числе и уголь в разных странах мира (Германии, Австралии, Польше, Канаде, Греции, Индии и др.) добываются этим способом. Мощное экскавационное и горно-транспортное оборудование непрерывного действия, которое используется при этом, на настоящем уровне развития техники обеспечивает наивысшую производительность при наименьших затратах на добычу.

Как правило, с применением именно машин непрерывного действия связано перспективное развитие угольных и рудных месторождений. В настоящее время их успешно применяют для экскавации не только мягких пород и угля, но и средней крепости, и даже крепких. Область применения этих машин продолжает расти как по виду работ, так и по горно-геологическим и климатическим условиям.

Широкое использование карьерных роторных экскаваторов обусловлено возможностью селективной выемки, непрерывностью рабочего процесса, более высокими, чем у одноковшовых и цепных экскаваторов, значениями КПД (в 1,5-1,7 раза) и скоростями процесса экскавации (в 1,7-2,2 раза), малыми затратами на изготовление рабочих органов для разработки пород повышенной крепости, возможностью ограничения кусковатости горной массы. По сравнению с цепными у роторных экскаваторов вдвое меньшими являются затраты энергии на подъем горной массы при верхнем копании и в 1,5-1,8 раза меньше износ режущих элементов [1].

Однако, при довольно высоких показателях использования роторных экскаваторов имеется еще немало резервов для повышения их эффективности, в частности, снижение энергоемкости экскавации путем совершенствования схемы расстановки режущих элементов на ковше, а ковшей

на роторе экскаватора; разработка и применение рациональных режимов экскавации. В результате их реализации может быть увеличена эксплуатационная производительность экскаватора, снижен расход электроэнергии и режущих элементов, улучшены качественные показатели добываемого угля (повышена его сортность).

Используемые на практике конструктивные решения режущих элементов весьма разнообразны [1, 2], однако наиболее удовлетворительные характеристики наблюдаются при ковшах раздельного резания.

Отличительной особенностью ковшей раздельного резания является то, что в сечении стружки кромки зубьев ориентированы параллельно друг другу и установлены со смещениями относительно друг друга по ширине ковша и дуге резания. Расстановка и ориентация зубьев обеспечивают последовательно-шахматную схему разрушения забоя. При такой схеме разрушения фактически реализуется независимая работа зубьев с минимальными удельными затратами энергии.

В отраслевых институтах угольной промышленности КНИУИ (г. Караганда) и УкрНИИпроект (г. Киев) при создании рабочих органов для проходческих комбайнов и фрезерных машин проводились исследования перекрестной схемы разрушения забоя [3, 4]. Было установлено, что усилия резания и удельные энергозатраты в 1,2-1,5 раза меньше, чем при полублокированном резании, что объясняется лучшим использованием концентраторов напряжений, образующихся при разрушении забоя, прорезьями. Следует также отметить, что при разрушении массива перекрещивающимися срезами продукты разрушения состоят из более крупных фракций относительно равномерного состава, что положительно сказывается на сортности угля.

Применительно к роторным экскаваторам при непосредственном участии авторов было разработано рабочее оборудование, позволяющее реализовать перекрестную схему разрушения забоя, при которой увеличивается выход сортового угля с одновременным снижением энергоемкости процесса экскавации [5, 6, 7].

Отличительной особенностью этого оборудования является схема установки трех типов ковшей на роторе (рис. 1). Ковши 1 имеют боковые, угловые, средние и центральный зубья. Они устанавливаются через три ковша. Центральные зубья могут быть поворотными с целью их лучшей приспособляемости к условиям правой и левой боковой подачи ротора. Ковши 2 имеют только боковые и угловые зубья и устанавливаются перед и за ковшами 1. Между ковшами 2 устанавливаются ковши 3, которые имеют боковые, угловые и средние зубья.

При работе роторного экскаватора с рабочим органом, реализующим перекрестную схему резания, в результате вращения и боковой подачи ротора зубья ковшей срезают элементарные стружки, оставляя на груди забоя прорезы значительно большей глубины, чем те, которые остаются при работе роторных экскаваторов с обычным рабочим оборудованием. При этом осуществляется последовательно-шахматная схема разрушения забоя (рис. 2), что обуславливает создание прорезей с минимально возможными затратами энергии.

Прорезы на груди забоя располагаются под углом  $\beta$  к вертикали согласно направлению боковой подачи ротора (рис. 3). При изменении ее направления на противоположное изменяется угол наклона прорезей. Таким образом, реализуется перекрестное резание ослабленного предыдущим резом слоя угля в забое под углом  $2\beta$ . Угол наклона прорезей определяется по формуле:

$$\beta = \arctg(V_{\Pi} / V_P), \text{ градус}, \quad (1)$$

где  $V_{\Pi}$ ,  $V_P$  - соответственно линейные скорости поворота стрелы и вращения ротора, м/мин.

Эффективность предложенной схемы была исследована на разрезе "Бородинский" (Россия, Канско-Ачинский угольный бассейн) при испытаниях базовых ковшей и ковшей перекрестного резания на экскаваторе ЭРП-2500 №4. Экскаватор отрабатывал угольный забой пласта "Бородинский-1". Характеристика угля в экспериментальных забоях приведена в табл. 1.

Таблица 1

Тип ковшей	Тип угля	Мощность $H, м$	Влажность $W, \%$	Зольность $A^c, \%$	Плотность $\gamma, кг/м^3$
Базовые	Бурый полуматовый	14	32,5	6,3	1,24
Перекрестного резания	марки 2БВ	13	30,6	10,4	1,27

Оценка энергоемкости процесса экскавации ковшами с базовой и реконструированной режущей частью на экскаваторе ЭРП-2500 производилась в установившихся режимах копания и рассчитывалась по суммарно расходуемой средней мощности двигателями приводов вращения ротора  $N_P$  и поворота стрелы ротора  $N_{\Pi}$ , отнесенной к производительности экскаватора:

$$W_{\dot{\epsilon}} = \frac{N_P + N_{\Pi}}{Q}, \text{ кВт.ч/м}^3. \quad (2)$$

Установка параметров экскавации производилась с учетом технических возможностей экскаватора по реализации производительности  $Q = 3400 - 3700 \text{ м}^3/\text{ч}$  в зависимости от высоты срезаемого ротором слоя  $h$ , частоты разгрузки ковшей  $n$ , скорости поворота стрелы ротора  $V_{\Pi}$  и толщины стружки на уровне оси вала ротора  $S$ . Установочные параметры режимов экскавации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип ковшей	Производительность, $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Частота разгрузки ковшей, $n, \text{ мин}^{-1}$	Параметры стружки		
			Высота, $h$	Ширина, $B$	Толщина $S$
Базовые	3400 - 3700	84-123	3,5-5,0	0,15-0,25	0,4-0,6
Перекрестного резания		79-83	4,0	0,3-0,35	0,4

Так как для реализации режима перекрестного резания необходимо поддерживать постоянство сечений отделяемых элементов стружек и производительности при фиксированном кинематическом угле резания, то необходимо регулировать скорости вращения и боковой подачи ротора обратно пропорционально косинусу угла поворота роторной стрелы. Для этого ПО "Азовмаш" по техническим требованиям института "УкрНИИпроект" разработало и установило на роторном экскаваторе ЭРП-2500 №4 блок автоматического управления режимом перекрестного резания [8].

Результаты сравнительного анализа базовых ковшей и ковшей перекрестного резания приведены в табл. 3.

Поскольку перед угольными разрезами была поставлена задача увеличения отгрузки сортового угля с преимущественным содержанием крупных фракций и ограниченным (до 30 %) содержанием мелочи класса - 25 мм, то в процессе испытаний проводились замеры фракционного состава продуктов разрушения методом ситового анализа. Графическая интерпретация результатов замеров кусковатости представлена на рис. 4.

Результаты проведенных испытаний и анализа энергетических и силовых параметров процесса экскавации базовыми ковшами и ковшами перекрестного резания на роторном экскаваторе РРП-2500 позволили сделать следующие выводы:

- 1) при использовании ковшей перекрестного резания энергоемкость экскавации снизилась на 40 %;
- 2) удельная сила копания при использовании ковшей перекрестного резания в 2,1 раза ниже, чем при использовании базовых ковшей;
- 3) загрузка приводов ротора и поворота при экскавации ковшами перекрестного резания ниже, соответственно в 1,46 и в 1,17 раза, чем при экскавации базовыми ковшами;
- 4) при использовании ковшей перекрестного резания наблюдается снижение значений боковой и окружной сил копания соответственно в 1,52 и 1,32 раза. Окружная сила на роторе в среднем составляла 102 кН при использовании базовых ковшей и 77 кН при ковшах перекрестного резания. Боковая сила копания достигала в среднем, соответственно 44 кН и 29 кН;
- 5) соотношение боковой составляющей силы копания к окружной  $P_B/P_O$  при использовании ковшей перекрестного резания в среднем составляет 0,39, что в 1,13 раза меньше, чем при использовании базовых ковшей;

6) сортность угля при использовании ковшей перекрестного резания повысилась на 26 %;

7) при использовании ковшей перекрестного резания на 12% снижается расход зубьев.

Таким образом, выполненные исследования показали, что применение предложенной схемы весьма эффективно и на открытых разработках полезных ископаемых, где применяются роторные экскаваторы. При этом затраты на модернизацию рабочего оборудования укладываются в смету текущего ремонта экскаватора, а энергоемкость процесса экскавации может быть снижена на 20 – 40 %.

Анализ сырьевой базы топливной промышленности Украины показал существование ряда перспективных для строительства разрезов месторождений (в первую очередь, Верхнеднепровское и Ново-Дмитровское бурогоольные и Болтышское сланцевое месторождения) годовой производительностью, соответственно, 4,6 млн т, 8 – 12 млн т и 20 – 80 млн т. Такие объемы добычи топлива способны обеспечить только технологические схемы с применением роторных экскаваторов. В связи с этим результаты проведенных исследований имеют большое практическое значение для потенциального снижения энергоемкости процессов экскавации.

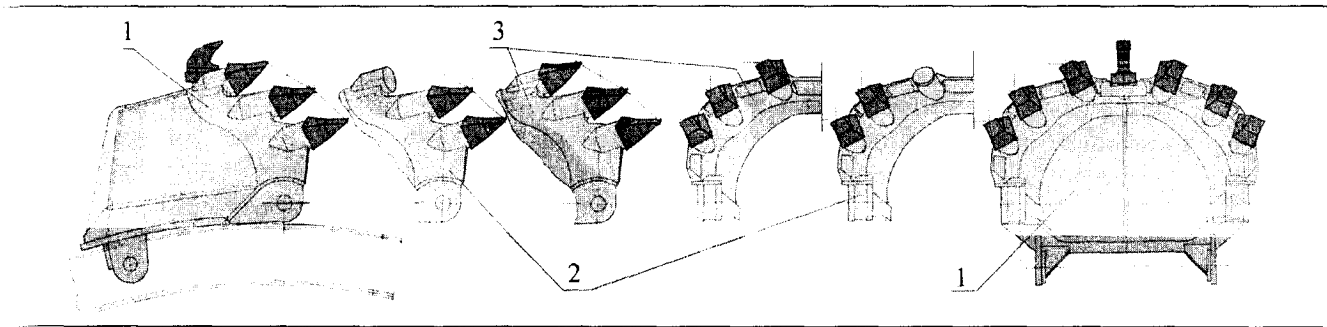


Рис. 1.

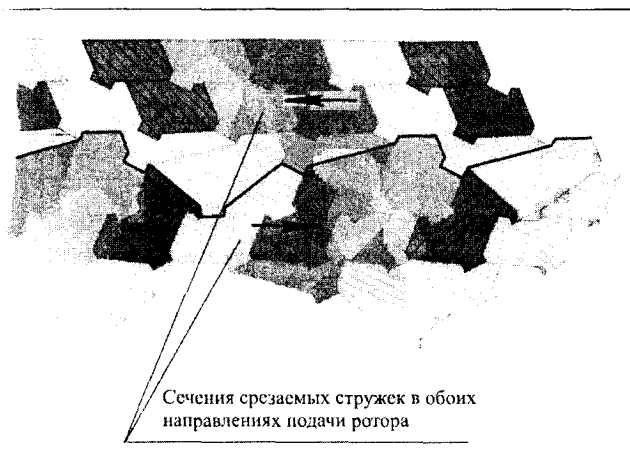


Рис. 2.

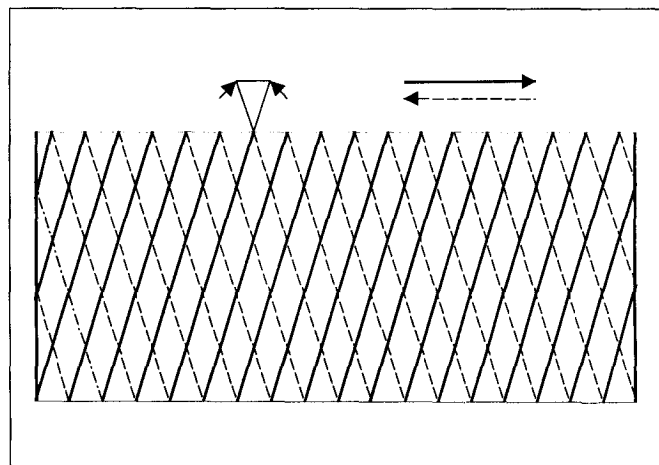


Рис. 3.



Рис. 4.

Таблица 3.

Тип ковшей	Производительность, $Q$ , м³/ч	Привод ротора		Привод поворота		Окружная сила, $P_O$ , кН	Боковая сила, $P_B$ , кН	$P_B / P_O$	Удельная сила копания, $K_F$ , Н/см²	Энергоемкость, $W_э$ , кВт·ч/м³
		Мощность, $N_p$ , кВт	Коэффициент загрузки по току, $K_{ЗР}$	Мощность, $N_{П}$ , кВт	Коэффициент загрузки по току, $K_{ЗП}$					
Базовые	3600 3450-3700	289 203-442	0,35 0,30-0,47	30 22-45	0,27 0,21-0,35	102 86-141	44 27-69	0,44 0,31-0,80	32 21-52	0,13 0,09-0,19
Перекрестного резания	3500 3400-3600	169 92-225	0,24 0,13-0,33	32 25-36	0,23 0,18-0,27	77 36-106	29 16-40	0,39 0,29-0,47	15 4-24	0,08 0,05-0,10

В числителе приведены средние значения параметров, в знаменателе диапазон разброса значений

1. Справочник механика открытых работ. Экскавационно-транспортные машины непрерывного действия / М.И. Щадов, В.М. Владимиров, В.В. Гужовский и др. / Под. ред. М.И. Щадова – М.: "Недра", 1989. – 487 с.
2. Механическое разрушение горных пород комбинированным способом / А.Ф. Кичигин, С.Н. Игнатов, А.Г. Лазуткин, И.А. Янцен. – М.: "Недра", 1972. – 253 с.
3. Г.П. Половнев, И.А. Эйдельштейн и др. Новые схемы разрушения угля и пород применительно к созданию проходческих комбайнов // Технология, механизация и экономика угольной промышленности Карагандинского бассейна. Научные труды КНИУИ, Вып. 35. – Фрунзе: "Кыргызстан". – 1970. – С. 86-91.
4. Трофимов В.К., Назаренко С.В. Исследование процесса разрушения породного массива перекрещивающимися срезами // Горные, строительные и дорожные машины, Вып. 28. – 1979. – С. 43-46.
5. Трофимов В.К., Дубинский Л.Г., Макаров В.М. Увеличение выхода сортового угля с одновременным снижением динамичности и энергоемкости процесса экскавации при работе роторного экскаватора // Молодые ученые – КАТЭКу (тезисы докладов научно-практической конференции молодых ученых). – Красноярск. – 1988. – С. 56-57.
6. Трофимов В.К., Макаров В.М. Повышение выхода сортового угля, добываемого роторным экскаватором // Экскавационно-транспортное, погрузочное и усреднительное оборудование непрерывного действия и поточная технология угольных разрезов. – Киев: "УкрНИИпроект". – 1990. – С. 57-62.
7. А.С. 1550041 СССР, МКИ5 E02F/18. Рабочий орган роторного карьерного экскаватора / В.К. Трофимов, В.М. Макаров (СССР). – № 436584/27-03; Заявлено 16.11.87; Опубл. 15.03.90, Бюл. № 10.
8. А.С. 1165746 СССР, МКИ4 E02F3/26. Устройство управления электроприводом поворота стрелы роторного экскаватора / В.А. Куленцов, В.В. Довгань (СССР). – №3638586/22-03; Заявлено 29.08.83; Опубл. 07.07.85, Бюл. № 25.