

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

А.Р. МАТТИС, С.В. ШИШАЕВ

Институт горного дела
Сибирское отделение
Академия наук СССРЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ЭКСКАВАТОРА С КОВШОМ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Резюме. В ИГД СО АН СССР разработаны конструкции ковшей активного действия к экскаваторам карьерного и строительного классов. В настоящем докладе приводятся некоторые результаты натурных испытаний карьерных машин, которые проводились на горных породах при широком диапазоне изменения их прочностных свойств.

Методика измерений обеспечивала получение достоверной информации об исследуемом процессе и проведение сравнительной оценки показателей экскавации горной массы при работе серийным ковшом после предварительного рыхления и ковшом активного действия в массиве ненарушенной структуры.

В результате анализа полученных материалов установлены зависимости ряда параметров исследуемого процесса от прочности горной породы, доказана эффективность разработки трещиноватых пород средней крепости ковшом активного действия. При этом нагрузка на металлоконструкцию и главные приводы экскаватора не превышают допустимых значений, а виброшумовые показатели лежат в пределах нормируемых величин.

Оснащение экскаваторов ковшами активного действия позволяет применять безвзрывную технологию и ведет к упрощению организации открытых горных работ. Особо следует отметить возможность улучшения гранулометрического состава экскавируемого материала.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности открытых горных работ является внедрение безвзрывной технологии путем расширения технологических возможностей экскаватора за счет оснащения их ковшами активного действия [1].

В Институте горного дела СО АН СССР, используя результаты ранее выполненных исследований процесса ударного разрушения горных пород, мерзлых грунтов и других крепких материалов, а также обширных опытно-конструкторских работ со созданием мощных пневмоударных устройств, нашедших применение в ряде отраслей промышленности в виде навесных пневмомолотов, были разработаны экспериментальные образцы ковшей активного действия к экскаваторам карьерного и строительного классов. Ковши ударными зубьями, приводившимися в действие пневмомолотами. Включение и выключение их осуществлялось

автоматически в зависимости от сопротивления копания на соответствующем ударном зубе.

В настоящей работе приведены некоторые результаты испытаний ковшей активного действия к карьерному экскаватору ЭКГ-4,6, которые проводились на карьерах ряда горнодобывающих отраслей [2-4]. В процессе испытаний изучались параметры рабочего процесса, отрабатывалась конструкция экспериментальных образцов, постепенно увеличивались продолжительность работы и объемы экскавированной горной массы. Всего были разработаны и исследованы 4 варианта конструкции ковшей. Для привода ударных зубьев здесь использовались пневмомолоты с энергией единичного удара 1,7 кДж, частотой 7 Гц. Ковш оснащался тремя ударными зубьями с шириной лезвий 170 мм, между ними на режущей кромке монтировались два статических зуба.

Сжатый воздух от передвижных компрессоров производительностью 20-25 м³ мин⁻¹, устанавливаемых на расстоянии 20-30 м от экскаватора, подводился к ковшу с помощью резинотканевых рукавов через специальное устройство, укрепленное на двуногой стойке.

Исследования и испытания экспериментальных образцов ковшей проводились при выемке горных пород крепостью от 2 до 17 по шкале проф. Протодьяконова и мерзлых грунтов, характеристики которых приведены в табл. 1.

В общем случае методика исследований предусматривала регистрацию усилий копания, количества зачерпнутой горной массы, продолжительности цикла и его составляющих, параметров вибрации на рабочем месте машиниста и на металлоконструкции базовой машины, а также параметров шума при работе серийным и экспериментальным ковшами в характерных для каждого условия. Данные материалы обеспечивали возможность сравнительной оценки основных параметров рабочего процесса экскаватора с различными исполнительными органами, в том числе коэффициентов динамичности, продолжительности включения и одновременности работы пневмомолотов за период копания, расхода сжатого воздуха и т.д. Кроме того, в ряде случаев оценивался гранулометрический состав продуктов экскавации, напряжение и сила тока главных приводов экскаватора.

Некоторые из полученных результатов приведены в таблицах 2 и 3. Измерения проводились при разработке серийным ковшом взорванного забоя, а опытным ковшом - массива ненарушенной структуры (за исключением кварцитов, разработка которых велась после сотрясательного взрыва с сеткой скважин, разреженной вдвое по сравнению с обычной технологией).

В табл. 2 усилие тяги - среднее за цикл, за вычетом составляющей от собственной массы рабочего оборудования; коэффициент динамичности - частное от деления суммы всех пиковых нагрузок за цикл на произведение среднего усилия тяги и количества пик в этом цикле; максимальный коэффициент динамичности - частное от деления наибольшего усилия тяги за цикл на среднее усилие тяги; расход сжатого воздуха - средний за весь цикл экскавации. В табл. 3 приведены максимальные значения тока и напряжения в главных приводах экскаватора при выполнении различных операций цикла серийным и экспериментальным ковшами в характерных для каждого условиях.

Таблица 1

Характеристики горных пород

| № пп | Наименование породы, предприятие | Коэффициент крепости по шкале М.М.Протодиньконова | Плотность, 10^3 Н.м^{-3} | Предел прочности на сжатие, МПа | Удельный расход ВВ, кг.м ⁻³ | Расстояние между трещинами в массиве, м | Категория по взрываемости |
|------|---|---|------------------------------------|---------------------------------|--|---|---------------------------|
| 1. | Сцементированный галечник ("Нурекгэстрой") | - | - | - | 0,350 | - | II-III |
| 2. | Алевролит (разрез "Красногорский", Кузбасс) | 5-6 | 2,50-2,54 | 70-77 | 0,470-0,580 | - | III-У |
| 3. | Песчаник (разрез "Красногорский", Кузбасс) | 5-6 | 2,56-2,66 | 50,0-57,0 | 0,470-0,540 | - | IV-У |
| 4. | Уголь (разрез "Новосергеевский", Кузбасс) | 2-3 | 1,98 | 12,0-24,5 | 0,350 | - | II-III |
| 5. | Кварцит (Антоновский рудник, Кемеровская обл.) | 12-16 | 2,60-2,72 | 132,0-151,5 | 0,640-0,680 | - | У-УП |
| 6. | Углисто-кремнисто-глинисто-карбонатная порода (Жайремский ГОК, Джезказганская обл.) | 6-12 | 2,59-2,70 | - | - | 0,05-0,40 | III-IV |
| 7. | Смешанная свинцово-цинковая руда (Жайремский ГОК) | 6-12 | 2,59-2,70 | - | - | 0,05-0,70 | III-IV |
| 8. | Окременная глинисто-карбонатная порода крепкая труднообрабатываемая (Жайремский ГОК) | 14-15 | 2,80-3,80 | - | - | 0,75-2,80 | У I |
| 9. | Баритизированные кремнистые метасоматы, с включениями сфалерита и галенита (Жайремский ГОК) | 13-17 | 2,72-4,30 | - | - | 0,80-3,00 | У I-УП |
| 10. | Вечномерзлые алевролиты на известняковом цементе (карьер "Мир" ПНО "Якуталмас") | 3-9 | 2,4 | 30-87 | 0,300-0,550 | - | IV-У |

Таблица 2

Параметры рабочего процесса экскаватора с различными исполнительными органами

| Тип ковша | Характеристика по табл. 1 | Усилие тяги на блоке, кН | Масса зачерпнутой породы, т | Коэффициент полезности | Максимальный коэффициент динамичности | Продолжительность цикла, с | Продолжительность работы пневмоцикл, с | Коэффициент полезности включения пневмоцикл, с | Продолжительность работы пневмоцикл, с | Расход сжатого воздуха, м ³ ·мин ⁻¹ |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--|--|--|---|
| Серийный | № 2, | 140 | 8,3 | 1,34 | 1,79 | 31,0 | 15,5 | - | - | - |
| Активного действия | № 3 | 147 | 8,1 | 1,29 | 1,50 | 26,2 | 10,0 | 0,76 | 7,6 | 13,3 |
| Серийный | № 4 | 108 | 4,5 | 1,14 | 1,70 | 39,9 | 7,4 | - | - | - |
| Активного действия | № 5 | 101 | 4,7 | 1,15 | 1,70 | 42,7 | 7,0 | 0,86 | 6,0 | 13,9 |
| Серийный | № 6 | 164 | 12,0 | 1,29 | 2,02 | 32,5 | 11,5 | - | - | - |
| Активного действия | № 7 | 192 | 12,4 | 1,23 | 1,83 | 30,4 | 12,4 | 0,70 | 8,7 | 14,2 |
| Серийный | № 8 | - | 10,0 | - | - | 26 | 8,5 | - | - | - |
| Активного действия | № 9 | - | 10,0 | - | - | 31 | 13,4 | 0,68 | 9,1 | 15,5 |
| Серийный | № 10 | - | 12,0 | - | - | 44,7 | 16,5 | - | - | - |
| Активного действия | № 11 | - | 9,6 | - | - | 37,8 | 15,7 | 0,60 | 9,4 | 17,3 |

В ходе исследований фиксировались также сроки службы некоторых деталей ковша активного действия, случаи отказов и их причины и т.д.

Анализ полученных материалов позволяет сделать следующие выводы.

1. Экскаватор с ковшом активного действия может эффективно разрабатывать трещиноватые породы средней крепости без предварительного рыхления, обеспечивая при этом такую же эксплуатационную производительность, как при выемке этих пород во взорванном состоянии серийным ковшом.

При необходимости выемки ковшом активного действия более крепких пород, они должны подвергаться предварительно сотрясательному взрыванию. Параметры таких взрывов должны выбираться с учетом конкретных горнотехнических условий.

2. При разработке ковшем активного действия трещиноватых пород средней крепости без предварительного рыхления практически не происходит возрастания нагрузок на экскаватор по сравнению с выемкой взорванных пород серийным ковшом. В то же время коэффициенты динамичности процесса экскавации снижаются на 5-15%, что, безусловно, способствует повышению надежности и долговечности базовой машины.

Таблица 3

Ток и напряжения в главных приводах экскаватора

| Выполняемая операция | Тип ковша | Максимальные значения за цикл | |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Сила тока, I А | Напряжение, U В |
| Подъем ковша | Серийный | 1500 | 430 |
| | Активного действия | 1500 | 380 |
| Напор | Серийный | 500 | 500 |
| | Активного действия | 250 | 430/436 ^x |
| Поворот экскаватора | Серийный | 300 | 660 |
| | Активного действия | 150 | 660/270 ^{xx} |

Примечания: x - возврат рукояти; xx - возврат порожнего ковша.

Значения I и U для экскаватора с серийным ковшом приведены предельно допустимые по технической характеристике.

3. При разработке ковшем активного действия забоев, в естественном состоянии не склонных к образованию осыпей (например, № 7, табл. 1), производительность копания увеличивается примерно в 1,10-1,50 раза, т.к. здесь при копании ковш проходит путь, равный высоте уступа. Общая продолжительность цикла при этом возрастает на 10-20%. При взорванном забое путь копания равен высоте осыпи и, как правило, не превышает 4-6 м.

В менее устойчивых породах (например, № 2, табл. 1) при работе ковшем активного действия наблюдалось даже сокращение продолжительности копания на 30-35% и общего времени цикла на 10-15%. Это объясняется более высокой средней скоростью вдвигания ковша, т.к. наличие ударных зубьев, при прочих равных условиях, снижает сопротивление копанью.

Некоторое возрастание продолжительности цикла при экскавации угля (№ 4, табл. 1) было вызвано стесненными условиями (работа велась в узкой траншее). В общем случае зависимость времени копания от прочности разрабатываемого массива (коэффициента крепости по шкале М.М. Протоdjяконова f) показана на рис. 1 (кривая 1), где $f = q_H/100$, q_H - предел прочности на одноосное сжатие.

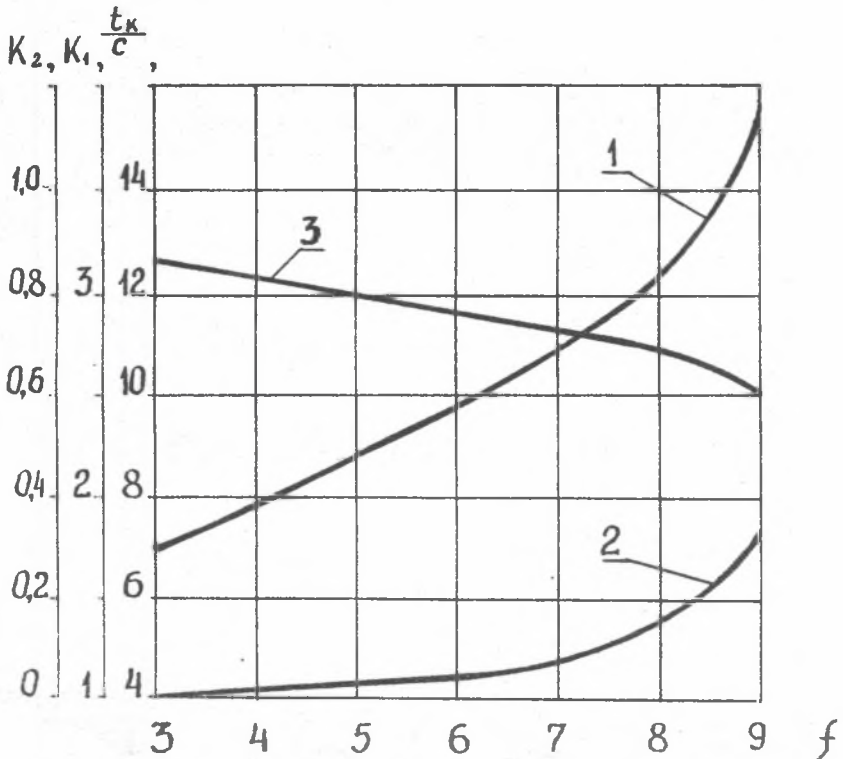


Рис. 1. Показатели работы экскаватора с ковшем активного действия

4. При разработке слабых пород одновременно включаются обычно 1-2 пневмомолота. С ростом крепости или вязкости породы одновременное включение двух и даже трех пневмомолотов наблюдается гораздо чаще. Зависимость коэффициента (K_1) одновременности работы пневмомолотов от прочности разрабатываемого массива, построенная по результатам испытаний, иллюстрирована кривой 2 на рисунке, где K_1 может быть определен по следующей зависимости:

$$K_1 = 1 + \frac{\sum_1^N t_{2п} + \sum_1^N t_{3п}}{\sum_1^N t_{1п}}$$

где: $t_{1п}$, $t_{2п}$, $t_{3п}$ - время работы одного, двух и трех пневмомолотов ковша соответственно, может быть вычислено по осциллограммам с записью виброускорений в узле крепления ковша к рукояти; N - количество ударов пневмомолотов за время копания - может определяться по осциллограммам с записью виброускорений в узле крепления ковша к рукояти.

Время работы пневмомолотов за период копания оценивается коэффициентом K_2 , который равен отношению продолжительности включения пневмомолотов ко времени копания, т.е.

$$K_2 = \frac{t_p}{t_k}$$

где:

$$t_p = t_{цп} \cdot N$$

$t_{цп}$ - продолжительность одного цикла пневмомолота.

С увеличением прочности породы, как правило, растет ее хрупкость. Это приводит к тому, что количество одновременно работающих молотов возрастает, а время их работы за цикл экскавации уменьшается. Характер зависимости K_2 от коэффициента крепости породы показан на рисунке (кривая 3).

5. Энергоемкость разработки массива складывается из энергозатрат на копание экскаватором и ударное разрушение, причем при определении последнего необходимо учитывать продолжительность и одновременность работы пневмомолотов за период копания, т.е.

$$E = \frac{1}{v} \int_0^S P_s ds + \frac{A_п K_1 K_2 t_k}{v}$$

где:

- P_s - тяговые усилия экскаватора, Н;
- s - путь копания, м;
- $A_п$ - энергия единичного удара, Дж;
- π - частота ударов пневмомолота, Гц;
- v - объем породы в ковше, м³.

По данным экспериментальных исследований энергоемкость ударного разрушения составляет приблизительно 10% от энергоемкости копания. Учитывая, что энергозатраты на копание при работе серийным и экспериментальным ков-

шами отличаются незначительно (см. тяговые усилия, табл. 2), можно сделать вывод о том, что энергоемкость разработки горных пород ковшем активного действия увеличивается примерно на 10% по сравнению с экскавацией предварительно рыхленного массива серийным ковшем той же емкости (энергозатраты на рыхление при этом не учитываются).

6. Усредненный расход сжатого воздуха ковшем активного действия составляет 13–17 м³ мин⁻¹, однако мгновенные значения расхода достигают 35 м³ мин⁻¹ и более. Для нормальной работы пневмомолотов ковша необходимо использовать дополнительный ресивер, емкость которого зависит от прочности разрабатываемого массива. Для выемки пород средней крепости табл. 2 достаточно иметь компрессор производительностью 20 м³ и ресивер емкостью 2,0–2,5 м³. При этих условиях давление в воздухоподводящей магистрали не будет падать ниже 0,4 МПа, а энергия единичного удара ниже 1,2 кДж, что обеспечит приемлемую интенсивность разрушения.

7. Исследования характеристик главных приводов экскаватора (табл. 3) показывают, что разработка горных пород ненарушенной структуры ковшем активного действия не ведет к перегрузкам электродвигателей базовой машины, следовательно не снижает их надежность и долговечность.

8. Результаты измерения параметров вибрации и шума на рабочем месте машиниста свидетельствуют о том, что фактические значения этих параметров не превышают нормируемых величин при всех операциях рабочего процесса.

9. Испытания показали удовлетворительную работоспособность и надежность основных элементов ковша активного действия. Так, за время испытаний на Жайремском ГОКе (№ 6–9, табл. 1) было вынута около 100 тыс. м³ горной массы практически без поломок рабочего оборудования. Ревизия пневмомолотов после завершения испытаний показала, что износ их деталей незначителен и они могут работать еще длительное время.

10. Оснащение экскаватора ковшем активного действия позволяет улучшить гранулометрический состав экскавируемого материала, т.е. уменьшить переизмельчение горной массы и избежать образования негабаритов, что особенно важно при добыче редких и ценных минералов.

Анализ показал, что экскаваторы с ковшами активного действия могут найти широкое применение на горнорудных карьерах, угольных разрезах, карьерах по добыче стройматериалов, при рыхлении смерзшейся руды на складах и т.д., обеспечивая при этом значительное упрощение организации производства, сокращение численности работающих в забое и, в конечном счете, высокую экономическую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Июфик С.Л.: Совершенствование организации и управления исследованиями в горном производстве. – Бюлл. "Цветная металлургия". 1988, № 5, С. 1–4.

- [2] Маттис А.Р., Хамчуков Ю.М.: Методика и основные результаты экспериментального исследования экскаваторных ковшей активного действия на угольных разрезах Кузбаса. Передача удара и машины ударного действия. - Новосибирск: изд. ИИД СО АН СССР, 1976, С. 98-108.
- [3] Федулов А.И., Маттис А.Р., Хамчуков Ю.М. и др. Результаты испытаний и перспективы применения экскаваторных ковшей активного действия. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - Новосибирск: Наука. - 1977, - № 2. С. 66-71.
- [4] Маттис А.Р., Шимаев С.В., Зайцев Г.Д. и др.: Основные результаты испытаний экспериментальных образцов ковшей активного действия к экскаватору ЭКГ-4,6; Сб. ст. Разрушение горных пород гидроударными исполнительными органами. Карагандинский политехнический институт; Отв. ред. Лазуткин А.Г. - Караганда, 1985, - С. 52-55.

Recenzent: Doc. dr inż. Julian Zieliński

BADANIA EKSPERYMENTALNE PROCESU ROBOCZEGO KOPARKI Z CZERPAKIEM AKTYWNYM

S t r e s z c z e n i e

W IGD AN ZSRR opracowano konstrukcje czerpaków aktywnych do koparek dla budownictwa i kopalń odkrywkowych. W niniejszym referacie podaje się niektóre wyniki badań naturalnych maszyn dla kopalń odkrywkowych, które zostały przeprowadzone na skałach w szerokim zakresie zmian własności wytrzymałościowych.

Metodyka pomiarów zapewniała otrzymanie wiarygodnej informacji dotyczącej badanego procesu i dała możliwość przeprowadzenia oceny porównawczej kopania skał przy pracy seryjnego czerpaka po wstępnym spulchnieniu i czerpakiem aktywnym w masywie struktury nie ruszonej.

W wyniku analizy otrzymanych materiałów ustalono zależności szeregu parametrów badanego procesu od wytrzymałości skały, udowodniono efektywność obrabiania skał z pęknięciami o średniej trwałości za pomocą aktywnego czerpaka. Przy tym obciążenie na konstrukcję metalową i napędy główne koparki nie przewyższa dopuszczalnych wielkości, w wskaźniki wibracyjno-akustyczne znajdują się w zakresie wielkości normowalnych.

Wyposażenie koparki aktywnymi czerpakami pozwala na zastosowanie technologii bezwybuchowej i prowadzi do uproszczenia organizacji otwartych prac górniczych. Osobno należy podkreślić ewentualność i możliwość ulepszenia składu granulometrycznego kopanego materiału.

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PERFORMANCES
OF AN ACTIVE-BUCKET EXCAVATOR

S u m m a r y

The active bucket for the excavators operating in strip mines and building industry were designed in the Mining Institute of the Academy of Science of the USSR. The paper summarizes some of the results of the experiments with strip mine machinery performed using the rocks with varying strength properties.

The methodology of measurements ensured the information obtained to be reliable. This made possible a comparison of the rock digging using a typical bucket on a preliminary fluffed rock with the performance of an active bucket on a non-influenced structure.

The analysis of the obtained materials allowed drawing the conclusions concerning the relationship of a number of parameters of the investigated process and the rock strength. The effectiveness of rock working the rock with medium-durability cnecks with an active bucket has been proved. At the same time, the load of the metal construction and the main drives of the excavator does not exceed the allowable values and the vibration-and acoustic parameters fall within the rated range.

Application of the active buckets in the mines allows implementing a non-explosive technology and leads to simplifying the organization of open mining works. Also the eventual possibility of improving the granulometric constitution of the worked material should be stressed.