

А.П. Комиссаров, П.А. Побегайло, В.С. Шестаков

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС АНАЛИЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ЭКСКАВАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Для определения технического уровня карьерных одноковшовых механических экскаваторов может быть использован энергетический подход. В этом случае энергопотребление характеризуется рядом показателей: энергоемкостью рабочего процесса (энергопоглощением); общей энергоемкостью и КПД рабочих механизмов при их совместной работе. В настоящей работе показано, что для карьерных одноковшовых механических экскаваторов процесс экскавации (копание) сопряжен с большими непроизводительными энергозатратами, превышающими энергозатраты на преодоление сопротивления копанью.

Ключевые слова: экскавация горных пород; энергопотребление; энергоемкость; энергопоглощение; коэффициент полезного действия.

В условиях реального производства необходимо иметь возможность оценивать технический уровень применяемой техники и делать это быстро. Необходимы методы экспресс-анализа технического уровня машин. Эти методы должны быть основаны на минимуме исходных данных и минимуме расчетов, и давать близкую к реальности качественную картину происходящего. Отталкиваясь от этих требований, нами разработан энергетический метод экспресс-анализа технического уровня карьерных одноковшовых механических экскаваторов (КОМЭ). Выбор КОМЭ обусловлен их важностью и распространенностью на открытых горных работах [1–3 и др.]. Рассмотрим предлагаемый метод подробнее.

Энергопотребление КОМЭ в общем случае характеризуется следующими показателями [1–6 и др.]:

- энергоемкостью рабочего процесса или энергопоглощением;
- величиной работы движущих сил;
- удельными энергозатратами, отнесенными к объему экскавируемой породы (общей энергоемкостью);
- суммарным КПД рабочих механизмов;

• степени использования установленной мощности привода.

Известно [1, 2, 4, 6 и др.], что величины энергозатрат и, соответственно, потребляемой мощности при экскавации (копании) значительно превышают энергозатраты при транспортировании грузенного и порожнего ковша. Уровень энергопотребления при экскавации определяется режимом работы копающих механизмов (подъемного и напорного). Поэтому далее мы рассматриваем лишь операцию копания (экскавацию).

Энергоемкость экскавации горных пород можно определить по формуле:

$$a = \frac{A_c}{V}, \quad (1)$$

где A_c – работа, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления копанью; V – объем экскавируемой породы.

В свою очередь, величина указанной выше работы определяется так:

$$A_c = P_{01} \cdot L, \quad (2)$$

где P_{01} – касательная составляющая сил сопротивления копанью; L – путь наполнения ковша.

Объем экскавируемой породы можно найти по формуле:

$$V = S \cdot L, \quad (3)$$

где S – среднее значение площади поперечного сечения объема экскавируемой породы.

На базе формул (2) и (3) формулу (1) можно записать в виде:

$$a = \frac{P_{01}}{S} = K_F, \quad (4)$$

где K_F – коэффициент сопротивления копанью [3–5 и др.].

При экскавации горных пород карьерными экскаваторами типа ЭКГ $K_F = 0,016 \dots 1,2$ МПа. Расчетное значение коэффициента для скальных пород $K_F = 325$ кПа, т.е. расчетное значение энергоемкости экскавации скальных пород $a = 325$ кПа.

Удельные энергозатраты (общая энергоемкость) могут быть определены по зависимости:

$$\Theta = \frac{A_{ДВ}}{V} = \frac{P_K}{Q_K} \approx \frac{P_{УСТ}}{Q_K}, \quad (5)$$

где $A_{ДВ}$ – работа движущих сил (усилий подъема и напора); P_K – потребляемая мощность при копании; $P_{УСТ}$ – установленная мощность привода; Q_K – производительность экскаватора (отнесенная к длительности копания).

Например, для экскаватора ЭКГ-10 (при мощности сетевого двигателя $P_{УСТ} = 800$ кВт; расчетной длительности копания $T_K = 8,7$ с) расчетная производительность при работе в скальном забое и удельные энергозатраты соответственно равны:

$$Q_K = \frac{10}{8,7} = 1,15 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\Theta = \frac{800}{1,15} \approx 700 \text{ кПа}.$$

Суммарный КПД копающих механизмов (подъемного и напорного) без учета потерь энергии на трение

в кинематических парах можно определить так:

$$\eta_{СУМ} = \frac{A_C}{A_{ДВ}} = \frac{P_C}{P_{УСТ}}, \quad (6)$$

где P_C – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления копанью. Ее можно оценить по следующей формуле:

$$P_C = P_{01} \cdot V_K, \quad (7)$$

где V_K – скорость вершины зуба ковша при копании.

Расчетное значение касательной составляющей сопротивления копанью определяется из условия заполнения ковша на уровне оси напорного вала. Это можно представить в виде следующего соотношения:

$$P_{01} = \frac{K_F \cdot E \cdot K_H}{H_H \cdot K_P}, \quad (8)$$

где E – вместимость ковша; K_H , K_P – соответственно коэффициенты наполнения ковша и разрыхления породы; H_H – высота оси напорного вала, определяемая от уровня стоянки экскаватора.

Величина скорости копания определяется видом траектории вершины зуба ковша и обычно лежит в диапазоне $0,6 \dots 1,2$ м/с. Большие значения соответствуют крутонаклонным траекториям. Фактические значения скорости копания при работе в скальном забое таковы: $V_K = 0,8 \dots 0,9$ м/с [7–9 и др.].

Для экскаватора ЭКГ-10 (при $P_{01} = 250$ кН и $V_K = 0,85$ м/с) приближенное значение суммарного КПД таково:

$$\eta_{СУМ} = \frac{250 \cdot 0,85}{800} = 0,27.$$

Суммарный КПД может быть определен и через отношение энергоемкости экскавации к общей энергоемкости. Для этого можно воспользоваться формулой вида:

$$\eta_{\text{сум}} = \frac{a}{\varepsilon}, \quad (9).$$

Для экскаватора ЭКГ-10 при экскавации скальных пород

$$\eta_{\text{сум}} = \frac{325}{700} = 0,46.$$

Разница в значении КПД определенной для ЭКГ-10 по разным формулам может быть объяснена в первую очередь неточностью исходных данных, а во вторую – грубостью нашей модели. Однако это разумная цена за скорость и простоту метода экспресс – оценки технического уровня КОМЭ.

В целом же низкий КПД при экскавации обуславливается как низким КПД рычажного механизма (механизма рабочего оборудования) ввиду разнонаправленности движущих сил и скоростей подъема и напора, так и энергозатратами на подъем грузевого ковша и рукояти на высоту разгрузки.

При выполнении остальных операций рабочего цикла потери энергии обуславливаются потерями на трение и КПД механизма составит $\approx 0,9$.

Степень использования установленной мощности привода за рабочий цикл относительно мала ввиду снижения уровня потребляемой мощности

при выполнении операций транспортирования ковша и разгрузки.

Выводы

В настоящей работе предложен метод экспресс-анализа технического уровня КОМЭ построенный на энергетическом подходе. Приведен пример его применения для ЭКГ-10. Данный метод может быть использован как в реальных условиях эксплуатации, так и на ранних стадиях проектирования подобного рода машин. Очевидно, что поставленный в рамках этой статьи вопрос требует своего дальнейшего развития и углубления.

Частные выводы на базе приведенного нами примера с ЭКГ-10 таковы:

- в целом характер формирования энергозатрат при экскавации определяется изменением потребляемой мощности. Для карьерных экскаваторов типа ЭКГ процесс экскавации сопряжен с большими непроизводительными энергозатратами, превышающими энергозатраты на преодоление сопротивления копания;
- энергоемкость экскавации горных пород (энергопоглощение) адекватна коэффициенту сопротивления копания;
- суммарный КПД капающих механизмов определяется соотношением между энергоемкостью экскавации и общей энергоемкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лагунова Ю.А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. и др. Горные машины. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-24 / Под общ. ред. В.К. Асташева. Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 496 с.

2. Горное оборудование Уралмашзавода / Коллектив авторов; отв. ред.-составитель Г.Х. Бойко. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2003. – 241 с.

3. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. – М.: Издательство МГГУ, 2007. – 680 с.

4. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 232 с.

5. Анистратов Ю.И. Эффективность буровзрывных технологий разработки крепких горных пород на карьерах // Горная промышленность. – 1997. – № 2.

6. Анистратов Ю.И. Технологические потоки на карьерах (энергетическая теория открытых горных работ). – М.: Глобус, 2005. – 304 с.

7. Крагель А.А., Рехтман А.П. Комплексные испытания экскаватора ЭКГ-12 //

Механизация строительства. – 2001. – № 1.

8. Шестаков В.С. Оптимизация параметров горных машин: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство УГГА, 2004. – 227 с.

9. Шестаков В.С. Расчет на ЭВМ параметров горного оборудования: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2009. – 258 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Комиссаров Анатолий Павлович – доктор технических наук, профессор, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, Уральский государственный горный университет, Побегайло Петр Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: petr214@yandex.ru, ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Шестаков Виктор Степанович – кандидат технических наук, профессор, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, Уральский государственный горный университет.

UDC 622.23:658.26

TECHNIQUE THE EXPRESS TRAIN OF THE ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION AT DIGGINS OF ROCKS

Komissarov A.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, Ural State Mining University, Pobegailo P.A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: petr214@yandex.ru, Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Shestakov V.S., Candidate of Technical Sciences, Professor, e-mail: yu.lagunova@mail.ru, Ural State Mining University.

Power approach is used for determination of technical level quarry excavators. Energy consumption describe by the next indicators: energy absorption general and working process; efficiency. Explained, what working process of quarry excavators entail great energy consumption.

Key words: excavation of rock; expenditure of energy; specific expenditure of energy; absorption of energy; total efficiency of working mechanisms.

REFERENCES

1. Lagunova Yu.A., Komissarov A.P., Shestakov V.S. *Gornye mashiny. Mashinostroenie. Entsiklopediya. T. IV-24. Pod red. V.K. Astasheva* (Mining machines. Machine engineering. Encyclopaedia. Vol. IV-24. Astashev V.K. (Ed.)), Moscow, Mashinostroenie, 2011, 496 p.
2. *Gornoe oborudovanie Uralskikh zavodov*, otv. red.-sostavitel' G.Kh. Boiko (Uralmash mining machinery, Boiko G.Kh. (Editor-in-Charge)), Ekaterinburg, Ural'skii rabochii, 2003, 241 p.
3. Poderni R.Yu. *Mekhanicheskoe oborudovanie kar'erov* (Open-pit mine machinery), Moscow, Izdatel'stvo MGGU, 2007, 680 p.
4. Tangaev I.A. *Energoemkost' protsessov dobychi i pererabotki poleznykh iskopaemykh* (Energy intensity of operations in mineral mining and processing), Moscow, Nedra, 1986, 232 p.
5. Anistratov Yu.I. *Gornaya promyshlennost'*, 1997, no 2.
6. Anistratov Yu.I. *Tekhnologicheskie potoki na kar'erakh (energeticheskaya teoriya otkrytykh gornykh rabot)* (Process flows at open-pit mines (energy theory of open-pit mining)), Moscow, Globus, 2005, 304 p.
7. Kragel' A.A., Rekhman A.P. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2001, no 1.
8. Shestakov V.S. *Optimizatsiya parametrov gornykh mashin: uchebnoe posobie* (Optimization of mining machine parameters: Educational aid), Ekaterinburg, Izdatel'stvo UGGGA, 2004, 227 p.
9. Shestakov V.S. *Raschet na EVM parametrov gornogo oborudovaniya: uchebnoe posobie* (Computer-aided calculation of mining equipment parameters: Educational aid), Ekaterinburg, Izdatel'stvo UGGGA, 2009, 258 p.