

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРІВ НА КАР'ЄРІ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЄМНОСТІ

А. І. Крючков, Л. І. Євтеєва

Національний технічний університет України «КПІ»

просп. Перемоги, 37, 03056, м. Київ, Україна. E-mail: 12212i@ukr.net

Розглянутий метод оптимізації продуктивності екскаваторних робіт на кар'єрі з використанням критерію загальної еквівалентної енергоемності та принципу емерджентності. Встановлено, що оптимальне значення продуктивності екскаваторних робіт на кожній ділянці (локальні оптимуми) не співпадають з оптимальними значеннями продуктивності при розгляді кар'єру, як цілісної системи, що потрібно врахувати при проектуванні, нормуванні і плануванні екскаваторних робіт. Для встановлення оптимальних значень продуктивності екскаваторних ділянок, як системи, використано задачу Ейлера на умовний екстремум з використанням методу невизначених множників Лагранжа для її розв'язку.

Ключові слова: екскавація, продуктивність, еквівалентна енергоемність, оптимізація, емерджентність.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСКАВАТОРОВ НА КАРЬЕРЕ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

А. И. Крючков, Л. И. Евтеева

Національний технічний університет України «КПІ»

просп. Перемоги, 37, 03056, м. Київ, Україна. E-mail: 12212i@ukr.net

Рассмотрен метод оптимизации производительности экскаваторных работ на карьере с использованием критерия общей эквивалентной энергоёмкости и принципа эмерджентности. Установлено, что оптимальное значение производительности экскаваторных работ на каждом участке (локальные оптимумы) не совпадают с оптимальными значениями производительности при рассмотрении карьера, как целостной системы, что нужно учитывать при проектировании, нормировании и планировании экскаваторных работ. Для установления оптимальных значений производительности экскаваторных участков, как системы, использована задача Эйлера на условный экстремум с использованием метода неопределённых множителей Лагранжа для её решения.

Ключевые слова: экскавація, продуктивність, еквівалентна енергоемність, оптимізація, емерджентність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Для порівняльної оцінки ефективності роботи кар'єрів по видобутку будівельних матеріалів використовують показник питомих сумарних зведених витрат або інший показник, в який входять грошові витрати на виробництво продукції.

Робота таких підприємств за останні десятиріччя показала, що в умовах нестійкої економіки оцінка ефективності виробництва по вартісних показниках

призводить до негативних наслідків. За цих умов значно кращий результат дає використання натуральних показників [1, 2].

В зв'язку з цим в статті використовується в якості показника ефективності виробництва питомі сумарні енергетичні витрати, як еквівалент вартісних витрат [1, 3, 4]. При проведенні ексакаційних робіт на кар'єрі враховуються всі складові вартісних витрат та знаходяться їх енергетичні еквіваленти по відомим методикам [1, 5].

Метою роботи є встановлення закономірностей та залежностей для розробки методу оптимізації продуктивності ексакаційних робіт на кар'єрі за критерієм загальної еквівалентної енергоємності.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Таким чином були виражені в енергетичному еквіваленті: вартісні витрати, пов'язані з витратами людської праці (енергетичний еквівалент зарплати); витрати в минулому пов'язані з упреждженою енергією на виробництво використовуваного на кар'єрі обладнання і споруд (енергетичний еквівалент амортизації); еквівалентні енергетичні витрати, пов'язані з екологічним збитком і таке інше.

Аналіз показав, що всі перераховані вартісні витрати, які зазвичай ходять в собівартість продукції, можна пов'язати з еквівалентними питомими витратами енергії і представити у вигляді залежності цих витрат від продуктивності дільничного екскаватора [5, 6].

Таким чином, теоретичні викладки та експериментальні дослідження показали, що сумарні еквівалентні енергетичні витрати по екскаваторній дільниці можуть бути представлені у вигляді:

$$E_e = \left(N_0 + e_K \cdot K_B \cdot \Pi_K + \frac{e_K^2 K_B}{N_0} \Pi_K^2 \right) 60t_3, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (1)$$

де N_0 – сумарна виробнича потужність витрат на календарному часі, яка не залежить від виробничої продуктивності екскаватора, кВт; e_K – питома енергоємність копання ґрунта екскаватором, Дж/м³; K_B – коефіцієнт використання екскаватора за зміну; Π_K – продуктивність копання ґрунта екскаватором, м³/хв; t_3 – тривалість зміни, годин.

Тоді загальну еквівалентну енергоємність ексакаційних робіт на дільниці запишемо у вигляді:

$$e_\Sigma = \frac{E_{ek}}{\Pi_K t_3} = \frac{N_0}{\Pi_K} + e_K K_B + \frac{e_K^2 K_B}{N_0} \Pi_K, \quad (2)$$

де e_Σ – загальна питома еквівалентна енергоємність ексакаційних робіт на дільниці, кДж/м³.

Одержана залежність має екстремальний вигляд (рис. 1). Дослідження цієї залежності (2) на екстремум дозволяє знайти як оптимальне значення продуктивності ексакації, (рис. 1)

$$\Pi_K^o = \frac{N_0}{e_K \sqrt{K_B}}, \quad (3)$$

так і мінімальне значення енергоємності екскавації, кДж/м^3

$$e_{\Sigma}^{\min} = (2\sqrt{K_B} + K_B) e_K. \quad (4)$$

Необхідно відмітити, що друга складова виразу (2) не залежить від продуктивності екскаваційних робіт, тому на значення оптимальної величини продуктивності екскавації Π_K^0 не впливає.

Таким чином, на блоці підірваних гірських порід екскаватор може працювати з якою завгодно продуктивністю, але мінімальному значенню еквівалентних енергетичних витрат e_{Σ}^{\min} буде відповідати оптимальна продуктивність Π_K^0 .

Допустимо, що на кар'єрі працюють дві дільниці (два екскаватори), тоді загальну еквівалентну енергоємність по кожній з дільниць можна розрахувати по виразах:

$$e_{\Sigma 1} = \frac{N_{01}}{\Pi_{K1}} + e_{K1} K_{B1} + \frac{e_{K1}^2 K_{B1}}{N_{01}} \Pi_{K1}; \quad (5)$$

$$e_{\Sigma 2} = \frac{N_{02}}{\Pi_{K2}} + e_{K2} K_{B2} + \frac{e_{K2}^2 K_{B2}}{N_{02}} \Pi_{K2}, \quad (6)$$

де $e_{\Sigma 1}$ та $e_{\Sigma 2}$ – загальні енергоємності екскаваційних робіт на кожній із дільниць; e_{K1} , e_{K2} , N_{01} , N_{02} , K_{B1} , K_{B2} – коефіцієнти для виразів (5) і (6); Π_{K1} та Π_{K2} – продуктивності екскаваційних робіт для першої і другої дільниць відповідно.

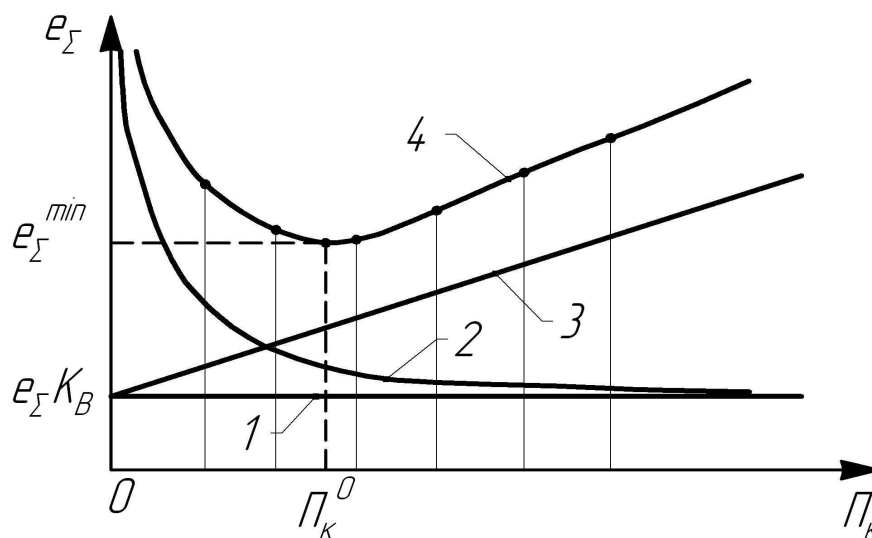


Рисунок 1 – Залежність сумарної еквівалентної енергоємності екскаваційних робіт від продуктивності дільничного екскаватора:

1 – $e_1 = e_K K_B$ – умовно-стала складова енергоємності;

2 – $e_2 = \frac{N_o}{\Pi_K}$ – гіперболічна складова енергоємності; 3 – $e_3 = \frac{e_K^2 K_B}{N_o} \Pi_K$ – лінійна

складова енергоємності; 4 – $e_{\Sigma} = e_1 + e_2 + e_3$

Аналіз залежності виразів (5) та (6) від продуктивності екскавації Π_K для кожної з ділянок дозволяє встановити оптимальні значення продуктивності незалежно однієї ділянки від іншої:

$$\Pi_{K1}^o = \frac{N_{01}}{\left(e_{K1}\sqrt{K_{B1}}\right)}; \quad (7)$$

$$\Pi_{K2}^o = \frac{N_{02}}{\left(e_{K2}\sqrt{K_{B2}}\right)}. \quad (8)$$

Одержані значення продуктивності є локальними оптимумами тому, що знайдені на основі приватних критеріїв оптимальності – загальній еквівалентній енергоємності екскаваційних робіт для кожної ділянки.

Уявимо собі, що дві ділянки складають загальну систему (кар'єр) і ставиться завдання встановлення оптимальних значень продуктивності екскаваційних робіт на кожній із ділянок, але загальна еквівалентна енергоємність екскаваційних робіт по кар'єру повинна бути мінімальною. При цьому сумарна продуктивність екскавації повинна дорівнювати сумі раніше знайдених оптимальних значень (7) і (8)

$$\Pi_{K1} + \Pi_{K2} = \Pi_{K1}^o + \Pi_{K2}^o = const.$$

Аналітичний запис математичної моделі системи (кар'єру), що складається із двох ділянок має вигляд:

критерій цілі

$$e = \frac{e_{1\Sigma}\Pi_{K1} + e_{2\Sigma}\Pi_{K2}}{\Pi_{K1} + \Pi_{K2}} \rightarrow \min; \quad (9)$$

обмеження

$$\Pi_K = \Pi_{K1} + \Pi_{K2} = \frac{N_{01}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{N_{02}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}}. \quad (10)$$

У математичному відношенні сформульована задача є задачею на умовний екстремум (задача Ейлера) і може бути розв'язана з використанням методу невизначених множників Лагранжа. Для цього складемо стандартну функцію Лагранжа першого роду з урахуванням функції цілі (9) та обмеження (10).

$$L(\Pi_{K1}, \Pi_{K2}, \lambda) = \frac{1}{\frac{N_{01}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{N_{02}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}}} \left(N_{01} + e_{K1}K_{B1}\Pi_{K1} + \frac{e_{K1}^2K_{B1}}{N_{01}}\Pi_{K1}^2 + N_{02} + e_{K2}K_{B2}\Pi_{K2} + \frac{e_{K2}^2K_{B2}}{N_{02}}\Pi_{K2}^2 \right) + \lambda \left(\Pi_{K1} + \Pi_{K2} - \frac{N_{01}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} - \frac{N_{02}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}} \right), \quad (11)$$

де λ – невизначений множник Лагранжа.

У цій функції змінними аргументами є Π_{K1} , Π_{K2} і λ .

Для знаходження мінімуму складної функції $L(\Pi_{K1}, \Pi_{K2}, \lambda)$ від декількох аргументів складемо наступну систему рівнянь:

$$\frac{\partial L}{\partial \Pi_{K1}} = \frac{1}{\frac{\Pi_{O1}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{\Pi_{O2}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}}} \left(e_{K1}K_{B1} + \frac{2e_{K1}^2 K_{B1}}{N_{O1}} \Pi_{K1} + \lambda \right) = 0; \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \Pi_{K2}} = \frac{1}{\frac{\Pi_{O1}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{\Pi_{O2}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}}} \left(e_{K2}K_{B2} + \frac{2e_{K2}^2 K_{B2}}{N_{O2}} \Pi_{K2} + \lambda \right) = 0; \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \Pi_{K1} + \Pi_{K2} - \frac{N_{O1}}{e_{O1}\sqrt{K_{B1}}} - \frac{N_{O2}}{e_{O2}\sqrt{K_{B2}}} = 0. \quad (14)$$

Знаходячи розв'язок цієї системи з трьох рівнянь з трьома невідомими, одержимо оптимальні значення продуктивності екскавації для кожної екскаваційної ділянки з точки зору кар'єру як системи з двох елементів:

$$\begin{aligned} \Pi_{K1}^o = & \frac{1}{1 + \frac{N_{O1}e_{K2}^2 K_{B2}}{N_{O2}e_{K1}^2 K_{B1}}} \left[\left(\frac{N_{O1}}{2e_{K1}^2 K_{B1}} \right) (e_{K2}K_{B2} - e_{K1}K_{B1}) + \right. \\ & \left. + \left(\frac{N_{O1}e_{K2}^2 K_{B2}}{N_{O2}e_{K1}^2 K_{B1}} \right) \left(\frac{N_{O1}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{N_{O2}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}} \right) \right]; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{K2}^o = & \frac{1}{1 + \frac{N_{O2}e_{K2}^2 K_{B2}}{N_{O1}e_{K1}^2 K_{B1}}} \left[\left(\frac{N_{O2}}{2e_{K2}^2 K_{B2}} \right) (e_{K1}K_{B1} - e_{K2}K_{B2}) + \right. \\ & \left. + \left(\frac{N_{O2}e_{K1}^2 K_{B1}}{N_{O1}e_{K2}^2 K_{B2}} \right) \left(\frac{N_{O1}}{e_{K1}\sqrt{K_{B1}}} + \frac{N_{O2}}{e_{K2}\sqrt{K_{B2}}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Як бачимо з виразів (15) та (16), оптимальне значення продуктивності екскавації в цьому випадку відрізняється від виразів (7) та (8). Тільки при умові $N_{O1} = N_{O2} = N_O$, $e_{K1} = e_{K2} = e_K$ та $K_{B1} = K_{B2} = 1$ вирази (15) і (16) ідентичні виразам (7) і (8).

Відомо, що здібність системи отримувати нові, по відношенню до елементів системи, властивості називається емерджентністю.

Таким чином, розглянутий в статті підхід до оптимізації продуктивності екскаваційних робіт на кар'єрі дозволяє врахувати принцип емерджентності при їх проектуванні та плануванні.

ВИСНОВКИ. 1. В умовах нестабільної економіки замість вартісних критеріїв ефективності виробництва більш ефективні натуральні критерії.

2. Для оцінки ефективності екскаваційних робіт на кар'єрі використаний критерій загальної еквівалентної енергоємності.

3. Залежність загальної еквівалентної енергоємності екскаваційних робіт від продуктивності екскаваційної дільниці має екстремальний характер, що дозволяє встановити оптимальну продуктивність (3), якій відповідає мінімальне значення енергоємності (4).

4. Якщо розглядати кар'єр (систему), що складається з двох екскаваційних дільниць (елементів), то оптимальне значення продуктивності кожної екскаваційної дільниці (15), (16) в системі не співпадає з оптимальними значеннями при локальній оптимізації (7), (8), тобто реалізується так званий принцип емерджентності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва // Кривий Ріг: «Мінерал», 2000. – 216 с.

2. Оптимизация электропотребления при добыче и переработке руд / Голин В.И., Пашков К.Х. // Горный журнал. – 1996. – № 6. – С. 3–5.

3. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых.– М.: Недра, 1986. – 231 с.

4. Темченко А.Г. Універсальний показник ефективності техніки, технології та організації відкритих гірничих робіт // Відомості АГН України – 1997. – № 2. – С. 31–32.

5. Беляков Ю.И. Выемочно-погрузочные работы на карьерах. – М.: Недра, 1987. – 268 с.

6. Падуков В.А. Физико-технические основы открытой разработки месторождений. – Л.: Изд. ЛГИ, 1987. – 66 с.

OPTIMIZATION OF THE PRODUCTIVITY OF POWER-SHOVELS IS ON A CAREER ON THE CRITERION OF POWER-INTENSITY

A. Kruchkov, L. Evteeva

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

prosp. Peremohy, 37, 03056, Kyiv-56, Ukraine. E-mail: l2212i@ukr.net

The method of optimization of the productivity of excavation on a career is considered with the use of criterion of general equivalent power-intensity and principle of emergentness. It is set that optimal value of the productivity of excavation on every allotted work (local optimums) does not coincide with the optimal values of the productivity at consideration of quarry, as an integral system, that it is needed to take into account at planning, setting of norms and planning of excavation. For establishment of optimal values of the productivity of excavation allotted work, as systems, the task of Euler has been used on a conditional extremum with the use of method of indefinite multipliers of Lagrange for it decision.

Key words: excavation, productivity, equivalent power-intensity, optimization, emergentness.

REFERENCES

1. Temchenko A.G. Resursozberigayuchi technologiiy girnychogo vyrobnyctva / A.G. Temchenko // – Kryvovoy Rig: «Mineral», 2000. – 216 p.
2. Golin V.I. Optimizaciya elektropotrebleniya pri dobyche i pererabotke rud / Golin V.I., Pashkov K.H. / Gorny gurnal. – 1996 - № 6. – P. 3-5.
3. Tangaev I.A. Energoyomkost processov dobychi i pererabotki poleznyh iscopaemyh / I.A. Tangaev // M.: Nedra, 1986. – 231 p.
4. Temchenko A.G. Universalny pokaznyk efektyvnosti tehniky, technologiiy ta organizacij vidkrytyh girnychih robit / A.G. Temchenko // Vidomosti AGN Ukrayny – 1997. – № 2. – P. 31-32.
5. Belyakov U. I. Vyemochno-pogruzochnye raboty na karerah / U.I. Belyakov // M.: Nedra. 1987. – 268 p.
6. Padukov V.A. Fiziko-tehnicheskie osnovy otkrytoy razrabotki mestorogdeniy / L.: LGI, 1987. – 66 p.

Стаття надійшла 20.05.2014.

УДК 622.271

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСА
«ЗЕМЛЕСОСНЫЙ СНАРЯД–ПУЛЬПОПРОВОД–
КЛАССИФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ПОДГОРОДНЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕСКА**

А. А. Бондаренко

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: bondarenkoa@ nmu.org.ua

При разработке Подгороднянского месторождения песка впервые применен комплекс добычи и переработки «землесосный снаряд–пульпопровод–классификационная установка» на базе классификатора гидравлического горизонтального. Рекомендованная технология предусматривает разработку полезного ископаемого землесосным снарядом, гидротранспортирование его в виде пульпы на площадку переработки, переработку с разделением на товарные классы с применением грохота наклонного колосникового и классификатора КГГ 250–0,16, обезвоживание и складирование готовой продукции, осветление шламов в шламоотстойниках и слив осветленной воды в котлован земснаряда. Обоснование рациональных технологических и конструктивных параметров КГГ 250–0,16 выполнено с применением разработанных моделей построения траекторий движения твердых частиц в горизонтальном классификаторе. Проектирование и разработка конструкторской документации классификатора КГГ 250–0,16 выполнено с применением программного обеспечения SolidWorks и MathCad. Выполненные проектно-конструкторские работы позволили определить назначение, область применения, требования к инженерному обеспечению, преимущества, а также построить характеристику классификатора.