

УДК 622.647:620.9

Олексій Куроп'ятник, к. т. н., доц.

Український державний університет науки і технологій, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ШАХТНИХ КОНВЕЄРІВ

Анотація. У роботі виконано аналіз сучасних напрацювань у сфері підвищення енергоефективності шахтних конвеєрів, а також визначено спільні та окремі фактори впливу на енергоефективність цих транспортних засобів на основі аналізу питомих енерговитрат.

Ключові слова: енергоефективність; питомі енерговитрати; стрічковий конвеєр; пластинчастий конвеєр; скребковий конвеєр; порівняльний аналіз

Oleksii Kuropiatnyk

DETERMINATION OF FACTORS INFLUENCE ON THE ENERGY EFFICIENCY OF MINE CONVEYORS

Abstract. The paper analyzes modern developments in the field of increasing the energy efficiency of mine conveyors, and also identifies common and individual factors influencing the energy efficiency of these vehicles based on an analysis of specific energy consumption.

Keywords: energy efficiency; specific energy consumption; belt conveyor; plate conveyor; scraper conveyor; comparative analysis

Одними з основних транспортних засобів шахт є конвеєри різних типів. Вони використовуються для перевезення вугілля, руди, породи та гірничої маси від забоїв до ділянок переробки, перевантаження або тимчасового складування, а також – як пасажирський транспорт. Серед них особливо поширеними є стрічкові, пластинчасті та скребкові конвеєри, які здійснюють переміщення вантажів за прямолінійними або викривленими в плані трасами з кутами підйому до $\pm 35^\circ$.

Аналіз літературних джерел показав, що питання енергоефективності шахтних конвеєрів було та залишається актуальним як для окремих підприємств, так і для галузі в цілому. Автори роботи [1] виділяють два способи зниження енергоспоживання на шахтному магістральному конвеєрному транспорті: встановлення додаткових рухомих або стаціонарних бункерів та використання засобів для забезпечення змінності швидкості руху конвеєрної стрічки пропорційно вхідному вантажопотоку. Відмічається, що підвищення коефіцієнта корисної дії приводу, заміна муфт на більш сучасні, покращення пускових режимів шляхом упровадження пристроїв плавного пуску, а також застосування нових типів стрічок збільшують термін служби рухомих елементів конвеєра, але знижують споживання електроенергії незначною мірою. Більш сучасні дослідження, ґрунтовний огляд яких наведено в роботі [2], показують, що ключовими рішеннями у підвищенні енергоефективності є використання стрічок з низьким тертям, частотно-регульованих приводів, систем моніторингу та автоматизації. Автор зауважив, що вибір правильних параметрів конструкції, проведення профілактичного обслуговування та використання спеціальних матеріалів мають вирішальне значення для зниження споживання енергії. Питанням підвищення енергоефективності стрічкових конвеєрів присвячено роботи [3, 4, 5]. Методики досліджень, які використали автори, є схожими, однак робота [5] спрямована на оцінювання впливу окремих параметрів конвеєра на його енергоефективність, тоді як у роботі [3] проведено окремі дослідження та встановлено оптимальні значення параметрів конвеєра, що відповідають мінімальним питомим енерговитратам процесу

транспортування різних будівельних матеріалів. У дослідженні [4] представлено результати теоретичного та емпіричного аналізу використання енергії в конвеєрах для розкривних порід та вугілля з акцентом на балансуванні взаємозв'язку між швидкістю стрічки та навантаженням. Також проводилися дослідження характеру розподілу втрат енергії під час завантаження [6]. Встановлено, що використання регулятора напруги дозволяє зменшити втрати енергії, які виникають через зміни технологічних параметрів стрічкового конвеєра. У роботі [7] проведено експериментальні дослідження по визначенню питомих енерговитрат стрічкових конвеєрів за різних значень їхніх характеристик. Їх результати отримано шляхом виконання статистичного аналізу даних про конвеєри, що використовуються на різних цементних заводах. У межах дослідження [8] побудовано моделі динамічного потоку вугілля та енергоефективності скребкового конвеєра для аналізу впливу різних змінних на споживання енергії та швидкість видобутку кускового вугілля. А в роботі [9] було складено модель споживання енергії на основі робочих характеристик та розроблено новий тип конвеєра з використанням скребок із додатковими котками. Для підвищення енергоефективності запропоновано конструкцію скребкового конвеєра з рухомим дном, яка дозволяє суттєво зменшити споживану потужність двигуна приводу конвеєра. Питання підвищення енергоефективності конвеєрів є актуальним не лише для переміщення вантажів, але й для переміщення людей, про що свідчать відповідні дослідження.

Наявні дослідження вказують на досить глибоке опрацювання питань енергоефективності шахтних конвеєрів, але в них недостатньо уваги приділено виявленню спільних та окремих факторів впливу на енергоефективність цих транспортних засобів.

Метою цієї роботи є виявлення спільних та окремих факторів впливу на енергоефективність шахтних конвеєрів на основі аналізу питомих енерговитрат.

Питомі енерговитратами e відображають витрати енергії E на транспортування вантажу масою m на відстань s : $e = E/(ms)$. При цьому витрати енергії $E = Fs/\eta$, де F – окружне зусилля приводу; η – коефіцієнт корисної дії приводу конвеєра. Після виконання математичних перетворень отримуємо

$$e = \frac{F}{m\eta}. \quad (1)$$

Окружне зусилля приводу конвеєра з гнучким тяговим органом (стрічкового, пластинчастого, скребкового) визначається з використанням методу обходу за контуром, відповідно до якого

$$S_{i+1} = S_i + W_{i,i+1}, \quad (2)$$

де S_i , S_{i+1} – натяги тягового органу в точках i та $i+1$ тягового контуру;
 $W_{i,i+1}$ – опір руху тягового органу на ділянці контуру між точками i та $i+1$.

Розташування цих точок відповідає схемі (рис. 1), складеній для стрічкового конвеєра; для інших типів конвеєрів вона буде схожою, відмінності – у видах несучих елементів та тягових органів.

Вибір точки мінімального натягу здійснюється в залежності від типу конвеєра, величини коефіцієнта опору руху рухомих елементів та кута нахилу конвеєра. Однак дослідження, виконані в межах даної роботи, показали, що така особливість розрахунку не має суттєвого впливу ні на величину, ні на характер залежності питомих енерговитрат від характеристик конвеєрів різних типів, тому в подальшому окружне зусилля приводу будемо визначати за формулами:

– для стрічкових конвеєрів [3]

$$F = \frac{\exp(f\alpha) - 1}{\exp(f\alpha) - k} (kW_{12} + W_{34}); \quad (3)$$

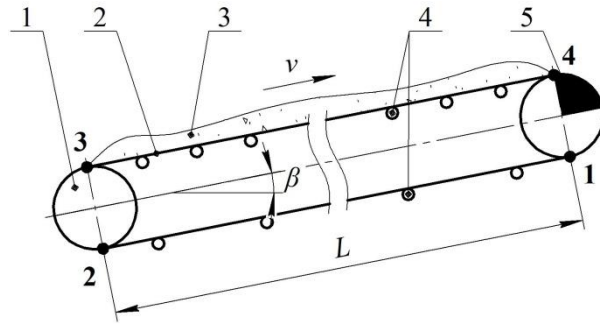


Рисунок 1 – Схема конвеєра [3]:

1 – натяжний барабан; 2 – стрічка; 3 – транспортований вантаж; 4 – роlikоопори;
5 – приводний барабан

– для ланцюгових конвеєрів (пластинчастих, скребкових)

$$F = (k - 1)S_{\min} + kW_{12} + W_{34}, \quad (4)$$

де $S_{\min}$ – мінімальний натяг тягового органу конвеєра (стрічки або ланцюга).

У цих формулах опори руху тягового органу:

– для стрічкових конвеєрів

$$W_{12} = q_0 g L (\omega \cos \beta - \sin \beta) + q_p'' g L \omega \cos \beta; \quad (5)$$

$$W_{34} = (q + q_0) g L (\omega \cos \beta + \sin \beta) + q_p' g L \omega \cos \beta; \quad (6)$$

– для пластинчастих та скребкових конвеєрів

$$W_{12} = q_0 g L (\omega \cos \beta - \sin \beta); \quad (7)$$

– для пластинчастих конвеєрів

$$W_{34} = (q + q_0) g L (\omega \cos \beta + \sin \beta); \quad (8)$$

– для скребкових конвеєрів

$$W_{34} = (q\omega_b + q_0\omega) g L \cos \beta + (q + q_0) g L \sin \beta. \quad (9)$$

У виразах (5)–(9) прийнято такі позначення:

q – погонна маса транспортованого вантажу;

q_0 – погонна маса тягового елемента (стрічки або ланцюгів);

q_p', q_p'' – погонна маса роlikоопор стрічкового конвеєра (робочої та холостої віток стрічки відповідно);

L, β – довжина та кут нахилу конвеєра (див. рис. 1);

ω – коефіцієнт опору руху рухомих елементів конвеєра;

ω_b – коефіцієнт опору руху вантажу в жолобі (для скребкових конвеєрів).

Після виконання математичних перетворень з урахуванням $m = qL$ отримуємо:

– для стрічкових конвеєрів

$$e_{\text{стр}} = \frac{g}{\eta} \cdot \frac{\exp(f\alpha) - 1}{\exp(f\alpha) - k} \cdot [(1 + k_m + k k_m + k_p)\omega \cos \beta + (1 + k_m - k k_m)\sin \beta]; \quad (10)$$

– для пластинчастих конвеєрів

$$e_{\text{пл}} = \frac{g}{\eta} \cdot \left[(k - 1) \frac{S_{\min}}{q g L} + (1 + k_m + k k_m)\omega \cos \beta + (1 + k_m - k k_m)\sin \beta \right]; \quad (11)$$

– для скребкових конвеєрів

$$e_{\text{скр}} = \frac{g}{\eta} \cdot \left[(k - 1) \frac{S_{\min}}{q g L} + (k_m + k k_m)\omega \cos \beta + \omega_b \cos \beta + (1 + k_m - k k_m)\sin \beta \right]. \quad (12)$$

Залежності (10)–(12) містять нові позначення:

$k_m = q_0/q$ – коефіцієнт маси рухомих елементів конвеєра; для пластинчастих та скребкових конвеєрів такими елементами є ланцюги з пластинами або скребками (в залежності від типу конвеєра), для стрічкових – стрічка;

$k_p = (q'_p + kq''_p)/q$ – приведений коефіцієнт маси роликкоопор (для стрічкових конвеєрів).

Аналізуючи отримані залежності, визначаємо фактори впливу на енергоефективність конвеєрів. Здебільшого, вони є спільними для конвеєрів різних типів, відмінності – у значеннях певних величин:

- коефіцієнт корисної дії приводу (η);
- коефіцієнт опору при огинанні тяговим органом барабана або зірочки (k);
- коефіцієнт маси рухомих елементів конвеєра (k_m);
- приведений коефіцієнт маси роликкоопор (k_p) – для стрічкових конвеєрів;
- коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном (f) – для стрічкових конвеєрів;
- кут огинання стрічкою приводного барабана (α) – для стрічкових конвеєрів;
- коефіцієнт опору руху рухомих елементів конвеєра (ω);
- коефіцієнт опору руху вантажу в жолобі (ω_v) – для скребкових конвеєрів;
- кут нахилу конвеєра (β);
- мінімальний натяг ланцюгів (S_{min}) – для пластинчастих та скребкових конвеєрів;
- погонна маса вантажу (q) – для пластинчастих та скребкових конвеєрів;
- довжина конвеєра (L) – для пластинчастих та скребкових конвеєрів.

Перелік посилань

1. Разумний Ю. Т., Прокуда В. М. Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт : монографія. Дніпро : НГУ, 2018. 120 с.
2. Konieczna-Fuławka M. Energy-saving solutions applied in belt conveyors: a literature review. *Energies*. 2025. Vol. 18. 3019. doi: 10.3390/en18123019.
3. Куроп'ятник О. С. Параметрична оптимізація стрічкових конвеєрів за критерієм енергоефективності. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2021. № 3 (93). С. 50–58. doi: 10.15802/stp2021/242036.
4. Jurdziak L., Bajda M. Balancing load and speed: a new approach to reducing energy use in coal conveyor systems. *Energies*. 2025. Vol. 18. 4716. doi: 10.3390/en18174716.
5. Kulinowski P. Directions for reducing the energy consumption of mining belt conveyors. *Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering*. 2022. № 3 (551). P. 21–34. doi: 10.7494/miag.2022.3.551.21.
6. Печеник М. В., Бур'ян С. О., Казьміна Л. М. Дослідження характеру розподілу втрат під час завантаження конвеєра. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 2. С. 63–67. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2215/2160>.
7. Jena M. Ch., Mishra S. K., Moharana H. S. Experimental investigation on maximizing conveying efficiency of belt conveyors used in series application and estimation of power consumption through statistical analysis. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2022. Vol. 42 (3). 14031. doi: 10.1002/ep.14031.
8. Lu Q., Chen Y., Cao X., Xie T., Mao Q., Leng J. Dynamic coal flow-based energy consumption optimization of scraper conveyor. *Appl. Sci*. 2025. Vol. 15. 7366. doi: 10.3390/app15137366.
9. Chen L., Song G., Wang D., Zhang X., Hao J. Energy consumption optimization of scraper conveyors adopting rolling friction: A technological revolution in China's coal mining equipment. *Journal of Industrial Safety*. 2025. Vol. 2, Issue 4. P. 213-220. doi: 10.1016/j.jinse.2025.04.002.