

МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.867.21-048.34

О. С. КУРОП'ЯТНИК^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

Параметрична оптимізація стрічкових конвеєрів за критерієм енергоефективності

Мета. У цій роботі поставлено за мету обґрунтування оптимальних значень параметрів стрічкового конвеєра, за яких питомі енерговитрати на транспортування вантажу набувають найменшого значення. **Методика.** Досягнення зазначеної мети здійснено шляхом мінімізації функції питомих енерговитрат, яка відображає витрати енергії на транспортування одиничного вантажу на одиничну відстань. У ході досліджень окружне зусилля привода визначено з використанням методу обходу за контуром. При цьому погонні навантаження від транспортованого вантажу, стрічки та роликкоопор було представлено як функції ширини стрічки. Для встановлення оптимальних значень продуктивності конвеєра та швидкості руху стрічки ширину стрічки було подано як функцію цих величин з урахуванням фізико-механічних властивостей транспортованого вантажу, особливостей конструкції роликкоопор та кута нахилу конвеєра. **Результати.** Отримано залежності питомих енерговитрат від проектних параметрів конвеєра. Їх аналіз дозволив виявити оптимальні значення ширини стрічки, продуктивності конвеєра, швидкості руху стрічки, а також оптимальне співвідношення двох останніх величин для різних видів транспортованого вантажу. Відзначено, що отримані результати можна доповнити шляхом проведення додаткових розрахунків за формулою, наведеною в цій роботі. Установлено, що оптимальне значення ширини стрічки залежить тільки від кута нахилу конвеєра та від коефіцієнтів, які визначають втрати енергії, зокрема коефіцієнта опору руху стрічки; при цьому вплив означеного коефіцієнта зростає зі збільшенням кута нахилу конвеєра. До того ж оптимальне значення ширини стрічки не залежить від довжини конвеєра, його продуктивності та швидкості руху стрічки. **Наукова новизна.** Отримано залежності питомих енерговитрат від проектних параметрів стрічкового конвеєра, що дозволило встановити оптимальні значення ширини стрічки та відношення продуктивності конвеєра до швидкості стрічки. **Практична значимість.** Результати цієї роботи можуть бути використані під час проектування енергоефективних стрічкових конвеєрів, які характеризуються найменшими питомими енерговитратами на транспортування вантажу.

Ключові слова: стрічковий конвеєр; енергоефективність; продуктивність; ширина стрічки; оптимізація

Вступ

Стрічкові конвеєри є машинами безперервної дії, основний елемент яких – прогумована вертикально замкнута стрічка, що огинає кінцеві барабани, один із яких, як правило, привідний, інший – натяжний. Стрічкові конвеєри досить широко застосовують на підприємствах хімічної, металургійної, машинобудівної промисловості, у виробництві будівельних матеріалів, транспортному та промисловому будівни-

цтві, на вуглезбагачувальних фабриках [1]. Тому підвищення ефективності таких машин, а також ефективності транспортних процесів із їх використанням є актуальною задачею.

Питанням раціонального проектування та поліпшення конструкцій стрічкових конвеєрів присвячено чимало робіт. Зокрема, у роботі [8] розглянуто оптимізацію пуску та роботи стрічкових конвеєрів у контексті забезпечення раціональних режимів роботи електропривода. Динамічні процеси, що виникають під час експлу-

МАШИНОБУДУВАННЯ

атації конвеєрів, досліджено і в інших роботах – [4, 5, 7, 12]. Окремі вчені розглядають питання вдосконалення конструкції стрічкових конвеєрів та розширення їх функціональних можливостей щодо транспортування різних вантажів [3, 11].

Одним із напрямів поліпшення конструкцій транспортних засобів і технологій транспортування є підвищення їх енергоефективності [13]. Такий підхід дозволяє скоротити витрати на експлуатацію техніки, зменшити собівартість транспортування вантажу тощо. Питання зменшення енергоспоживання стрічкового конвеєра за рахунок використання особливого алгоритму регулювання швидкості розглянуто в роботі [10].

Мета

У цій роботі поставлено за мету обґрунтування оптимальних значень параметрів стрічкового конвеєра, за яких зведені енерговитрати на транспортування вантажу набувають найменшого значення.

Методика

Як показник енергоефективності стрічкового конвеєра візьмемо питомі енерговитрати e , які відображають витрати енергії E на транспортування вантажу масою m на відстань s :

$$e = \frac{E}{ms}. \quad (1)$$

Витрати енергії можна визначити за формулою:

$$E = \frac{Fs}{\eta}, \quad (2)$$

де F – окружне зусилля привода; η – коефіцієнт корисної дії привода.

Після підставлення (2) в (1) та виконання математичних перетворень отримуємо:

$$e = \frac{F}{\eta m}. \quad (3)$$

Окружне зусилля привода конвеєра з гнучким тяговим органом, в тому числі стрічкового, визначають із використанням методу обходу за контуром, відповідно до якого

$$S_{i+1} = S_i + W_{i,i+1}, \quad (4)$$

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

Подальші розрахунки будемо проводити для конвеєрів зі схемою, наведеною на рис. 1.

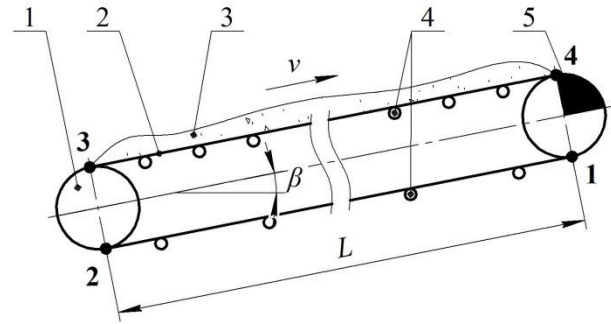


Рис. 1. Схема конвеєра:

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

Fig. 1. Conveyor scheme:

- 1 – tension drum; 2 – belt;
3 – transported cargo;
4 – roller supports; 5 – drive drum

Відповідно до позначень, наведених на рис. 1, окружне зусилля привода набуде вигляду:

$$F = S_4 - S_1, \quad (5)$$

де S_1, S_4 – натяги стрічки в точках її збігання з приводного барабана та набігання на барабан.

Використовуючи метод обходу за контуром, визначимо натяги стрічки в точках 2–4, виражаючи їх через натяг S_1 :

$$S_2 = S_1 + W_{12}; \quad (6)$$

$$S_3 = kS_2 = k(S_1 + W_{12}); \quad (7)$$

$$S_4 = S_3 + W_{34} = k(S_1 + W_{12}) + W_{34}. \quad (8)$$

У формулах (6) – (8) прийнято такі позначення: S_2, S_3 – натяги стрічки в точках 2 й 3 відповідно; W_{12}, W_{34} – опори руху стрічки на ділянках між точками 1, 2 й 3, 4 відповідно; k – коефіцієнт, що враховує збільшення натягу стрічки під час огинання нею натяжного барабана ($k = 1,05$ за кута огинання $\alpha = 180^\circ$).

Можливість реалізації тяги стрічкового конвеєра забезпечується в разі дотримання умови

МАШИНОБУДУВАННЯ

$$S_4 \leq S_1 \exp(f\alpha), \quad (9)$$

де f – коефіцієнт зчеплення стрічки з привідним барабаном; α – кут огинання стрічкою привідного барабана.

Із поєднання виразів (8) і (9) випливає, що в разі дотримання граничного стану умови (9) натяг стрічки в точці 1 можна визначити з такого рівняння:

$$S_1 \exp(f\alpha) = kS_1 + kW_{12} + W_{34}.$$

Після виконання математичних перетворень маємо:

$$S_1 = \frac{kW_{12} + W_{34}}{\exp(f\alpha) - k}. \quad (10)$$

Тоді натяг стрічки в точці 4 становитиме:

$$S_4 = \frac{\exp(f\alpha)}{\exp(f\alpha) - k} (kW_{12} + W_{34}). \quad (11)$$

Підставляючи (10) та (11) у (5), після виконання математичних перетворень отримуємо вираз для визначення окружного зусилля привода конвеєра:

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

Величини опорів руху стрічки визначаємо так:

$$W_{12} = q_0 L (w' \cos \beta - \sin \beta) + q_p'' L w' \cos \beta; \quad (13)$$

$$W_{34} = (q + q_0) L (w' \cos \beta + \sin \beta) + q_p' L w' \cos \beta. \quad (14)$$

У цих формулах q – погонне навантаження на стрічку від ваги транспортованого вантажу; q_0 – погонна вага стрічки; q_p', q_p'' – погонне навантаження від ваги роликкоопор (робочої та холостої віток стрічки відповідно); L, β – довжина та кут нахилу конвеєра (див. рис. 1); w' – зведений коефіцієнт опору руху стрічки.

Поєднуючи вирази (12) – (14), отримуємо:

$$F = \frac{\exp(f\alpha) - 1}{\exp(f\alpha) - k} [kq_0 L (w' \cos \beta - \sin \beta) + kq_p'' L w' \cos \beta + (q + q_0) L (w' \cos \beta + \sin \beta) + q_p' L w' \cos \beta]. \quad (15)$$

Після підставлення (15) у (3) та виконання математичних перетворень отримуємо:

$$e = \frac{1}{\eta} \frac{\exp(f\alpha) - 1}{\exp(f\alpha) - k} \left[\left(1 + \frac{m_0}{m} + \frac{m_p}{m} \right) w' \cos \beta + \left(1 + \frac{m_0}{m} \right) \sin \beta + k \frac{m_0}{m} (w' \cos \beta - \sin \beta) \right]. \quad (16)$$

Таким чином, отримано залежність питомих енерговитрат від параметрів конвеєра, у якій прийнято такі позначення: $m = qL / g$ – маса транспортованого вантажу; $m_0 = q_0 L / g$ – маса стрічки на одному напрямку руху (без урахування частини стрічки, що знаходиться на барабанах); $m_p = (q_p' + kq_p'') L / g$ – узагальнена маса роликкоопор на обох напрямках руху стрічки.

Ураховуючи те, що конвеєр є більш енергоефективним у разі, коли питомі енерговитрати мінімальні, відзначаємо фактори впливу та напрямки їх зміни (за інших незмінних умов) для підвищення енергоефективності конвеєра:

- маса транспортованого вантажу – до збільшення;
- маса стрічки – до зменшення;
- маси роликкоопор – до зменшення;
- коефіцієнти втрати енергії різного роду (η, k, w') – до зменшення;
- кут нахилу конвеєра – вплив неоднозначний.

Проведені автором дослідження показали, що вплив коефіцієнта зчеплення стрічки з барабаном (f) та кута огинання барабана стрічкою (α) на питомі енерговитрати є дуже малим. Слід також відзначити, що питомі енерговитрати не залежать від довжини конвеєра (L).

Більш глибокий аналіз виразу (16) вимагає встановлення залежностей мас стрічки та роликкоопор від ширини стрічки. Вивчення літератури [2, 6] показало наявність прямих залежностей $q_p'(B)$ та $q_p''(B)$, де B – ширина стрічки. А в роботі [9] указано, що навантаження від роликкоопор також залежать від насипної щільності транспортованого вантажу. В усіх випадках ці залежності подано у вигляді табульованих функцій, які слід апроксимувати для спрощення подальшого аналізу. Дослідження пока-

МАШИНОБУДУВАННЯ

зали, що залежності $q'_p(B)$ та $q''_p(B)$ достатньо точно можна описати поліномами третього ступеня (рис. 2) в такій формі:

$$q'_p(B) = 471B^3 - 1039B^2 + 921B - 159; \quad (17)$$

$$q''_p(B) = 205B^3 - 500B^2 + 491B - 111. \quad (18)$$

За цими формулами величини $q'_p(B)$ та $q''_p(B)$ отримуємо в Ньютонах, ділених на метр, у разі, коли ширину стрічки B підставлено в метрах.

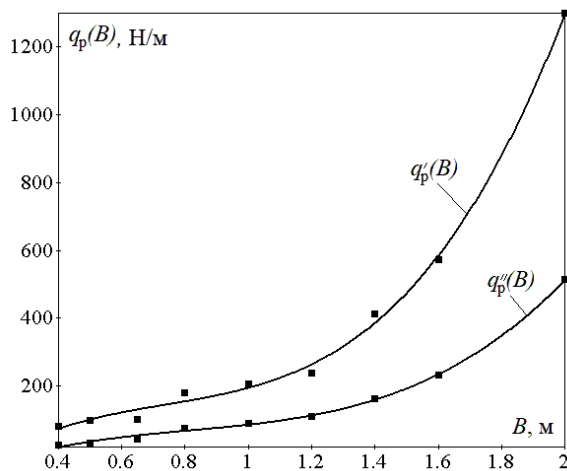


Рис. 2. Апроксимація табульованих залежностей $q'_p(B)$ та $q''_p(B)$

Fig. 2. Approximation of tabulated dependencies $q'_p(B)$ and $q''_p(B)$

Залежність погонної ваги стрічки від її ширини можна встановити аналітично з такого виразу:

$$q_0(B) = g\gamma_c B(n\delta + h_1 + h_2),$$

де γ_c – узагальнена щільність стрічки; n – кількість прокладок стрічки; δ – товщина однієї прокладки; h_1 , h_2 – товщина робочої та ходової обкладок відповідно.

За рекомендаціями [6] попередньо беремо: $\gamma_c = 1100 \text{ кг/м}^3$; $n = 4$; $\delta = 1,2 \text{ мм}$; $h_1 = 4 \text{ мм}$; $h_2 = 2 \text{ мм}$. Тоді після підставлення чисел отримуємо:

$$q_0(B) = 117 B. \quad (19)$$

Щоб отримати залежність $q(B)$, використаємо формулу для визначення ширини стрічки [2]:

$$B = 1,1 \left(\sqrt{\frac{\Pi}{k_n C \gamma v}} + 0,05 \right), \quad (20)$$

де Π – продуктивність конвеєра; k_n – коефіцієнт, який враховує зсипання транспортованого вантажу під час руху стрічки на підйом (коефіцієнт нахилу); C – коефіцієнт продуктивності, який залежить від форми роликкоопор та фізико-механічних властивостей транспортованого вантажу;

γ – насипна щільність транспортованого вантажу; v – швидкість руху стрічки.

У формулу (20) продуктивність Π слід підставляти в тоннах за годину, насипну щільність γ – у тонах, ділених на кубічний метр, швидкість v – у метрах за секунду; коефіцієнти k_n та C не мають явного фізичного змісту, їх визначають емпірично та вважають безрозмірними величинами (беруть за таблицями). У такому разі результат за формулою (20) – ширину стрічки – отримаємо в метрах.

Ураховуючи те, що для стрічкового конвеєра продуктивність $\Pi = 3,6 qv/g$, із виразу (20) отримуємо:

$$q(B) = \frac{k_n C \gamma g}{3,6} (0,91B - 0,05)^2. \quad (21)$$

Апроксимація табульованої залежності $k_n(\beta)$ [2] дозволила встановити, що в інтервалі значень β від нуля до 30 градусів

$$k_n(\beta) = -9,4 \cos^2 \beta + 21,4 \cos \beta - 11.$$

Коефіцієнт C змінюється в доволі широких межах ($C = 100 \dots 710$ [2]), однак у роботі [9] наведено окремі значення для різних транспортованих вантажів; ними й будемо користуватися.

Підставляючи залежності (17) – (19), (21) у вираз (16) з урахуванням пояснень до нього, отримуємо залежність питомих енерговитрат від ширини стрічки та інших параметрів конвеєра. Аналітичний запис цієї залежності в даній роботі не наведено через його значну громіздкість. Представимо залежність $e(B)$ в графічному вигляді.

Оптимальне значення ширини стрічки $B_{\text{опт}}$, визначаємо шляхом розв'язання рівняння

МАШИНОБУДУВАННЯ

$de(B)/dB = 0$. Оскільки представлення функції $e(B)$ в аналітичному вигляді є ускладненим через її громіздкість, указане рівняння розв'язуємо за допомогою чисельних методів, реалізованих у функції `root` системи MathCAD.

Для встановлення залежності питомих енерговитрат від продуктивності конвеєра та швидкості руху стрічки скористаємося виразом (20), виконуючи необхідні заміни в залежностях (17) – (19), (21). Ці залежності після внесення змін вказувати не будемо через їх громіздкість.

Результати

За матеріалами роботи [9] визначимо добуток $C\gamma$ для деяких матеріалів:

- пісок – $C\gamma = 470 \cdot 1,45 \approx 680$;
- ґрунт – $C\gamma = 470 \cdot 1,6 \approx 750$;
- гравій – $C\gamma = 470 \cdot 1,8 \approx 845$;
- щебінь – $C\gamma = 550 \cdot 1,6 = 880$.

Ураховуючи ці значення, побудуємо залежність $e(B)$ для різних транспортованих вантажів (рис. 3).

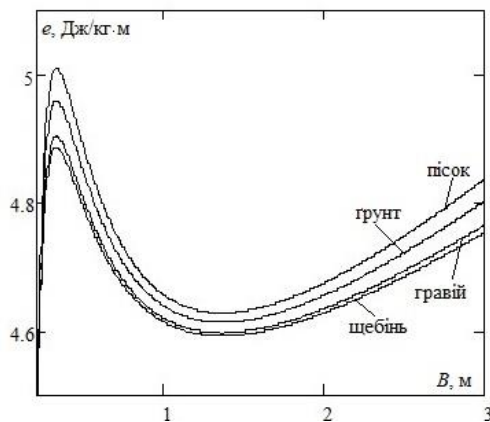


Рис. 3. Залежність питомих енерговитрат від ширини стрічки для різних видів транспортованого вантажу

Fig. 3. Dependence of specific energy consumption on the belt width for different types of transported cargo

Як бачимо, функція $e(B)$ має два екстремуми, отже, існує оптимальне значення ширини стрічки B_{opt} , за якого питомі енерговитрати набувають мінімального значення. Також можна стверджувати, що використання стрічки шириною, яка відповідає першому екстремуму цієї функції, є небажаним, тому що за таких умов питомі енерговитрати є найбільшими.

Із рис. 3 видно, що характер залежності $e(B)$ для різних матеріалів є незмінним, до того ж ця функція набуває екстремальних значень за одних і тих самих значень аргумента. Отже, оптимальне значення ширини стрічки не залежить від виду транспортованого вантажу, так само й від форми роликкоопор. Дослідження показали: оптимальне значення ширини стрічки, за якого питомі енерговитрати є мінімальними, залежить тільки від кута нахилу конвеєра (більшою мірою) та від коефіцієнтів, які визначають втрати енергії, зокрема коефіцієнта опору руху стрічки (рис. 4). При цьому вплив коефіцієнта опору руху стрічки зростає зі збільшенням кута нахилу конвеєра. Відзначаємо, що B_{opt} не залежить від довжини конвеєра, його продуктивності та швидкості руху стрічки.

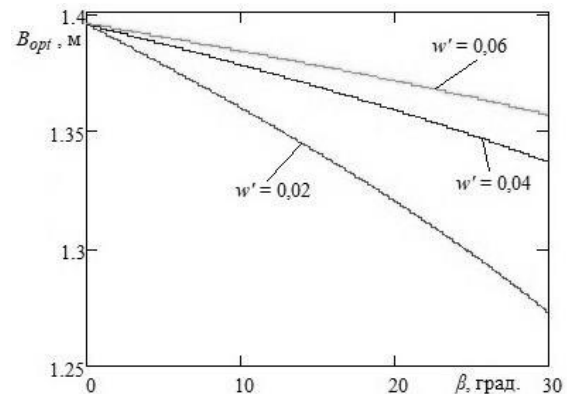


Рис. 4. Залежність оптимальної ширини стрічки від кута нахилу конвеєра за різних значень коефіцієнта опору руху стрічки

Fig. 4. Dependence of the optimal belt width on the belt angle at different values of the belt resistance coefficient

Функцію $e(\Pi)$ подано в графічному вигляді на рис. 5. Як бачимо, ця функція має два екстремуми: перший відповідає максимальним питомим енерговитратам, другий – мінімальним. Отже, існує певне оптимальне значення продуктивності Π_{opt} , за якого конвеєр є найбільш енергоефективним (питомі енерговитрати найменші). Таке значення залежить від швидкості руху стрічки, до того ж ця залежність є лінійною прямопропорційною, що також підтверджується виразом $\Pi = 3,6 qv / g$.

Із виразу (20) випливає, що

$$\xi = \Pi/v = k_n C\gamma (0,91B - 0,05)^2. \quad (22)$$

МАШИНОБУДУВАННЯ

Залежність $e(\xi)$ для різних видів транспортованого вантажу подано на рис. 6.

Як бачимо, функція $e(\xi)$ має два екстремуми, так само як і функція $e(B)$, але її аргументи, що відповідають екстремальним значенням, різняться для кожного з видів транспортованого вантажу, що підтверджується й залежністю (22).

Таким чином, доходимо висновку, що під час проведення оптимізації стрічкового конвеєра доцільного говорити не про оптимальну продуктивність (Π_{opt}) та оптимальну швидкість руху стрічки (v_{opt}), а про їх оптимальне співвідношення $\xi_{\text{opt}} = \Pi_{\text{opt}}/v_{\text{opt}}$. Значення такого співвідношення для різних матеріалів подано в табл. 1.

Відомості, наведені в табл. 1, отримано з використанням усереднених значень фізико-механічних властивостей транспортованих вантажів. За необхідності величини ξ_{opt} для інших вантажів або за інших умов транспортування (конструкція роликкоопор, кут нахилу конвеєра) можна визначити за формулою (22), підставляючи в неї оптимальне значення ширини стрічки. При цьому слід пам'ятати, що B_{opt} залежить від кута нахилу конвеєра та коефіцієнта опору руху стрічки (див. рис. 4).

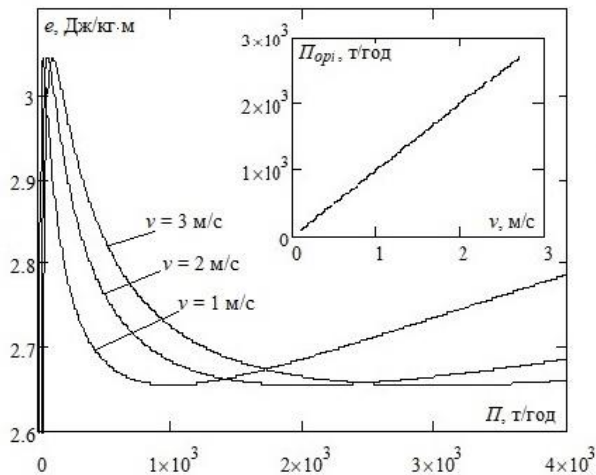


Рис. 5. Залежність питомих енерговитрат від продуктивності конвеєра за різних значень швидкості руху стрічки

Fig. 5. Dependence of specific energy consumption on the conveyor productivity at different values of the belt speed

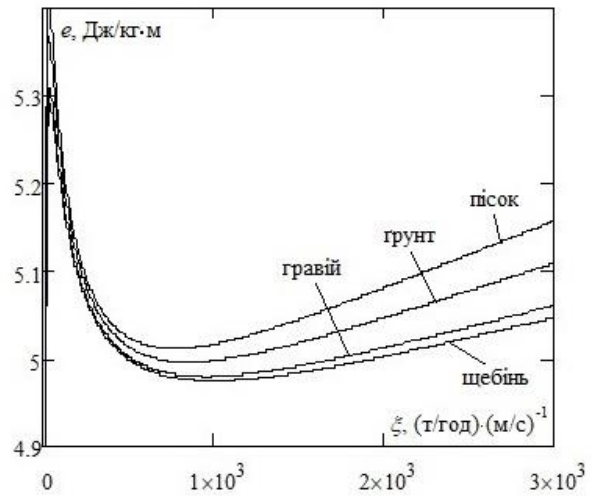


Рис. 6. Залежність питомих енерговитрат від співвідношення продуктивності та швидкості руху стрічки для різних видів транспортованого вантажу

Fig. 6. Dependence of specific energy consumption on the productivity ratio of and the belt speed for different types of transported cargo

Таблиця 1

Оптимальні співвідношення ξ_{opt} , (т/год)·(м/с)⁻¹, для різних видів транспортованого вантажу

Table 1

Optimal ratios ξ_{opt} , (t/h)·(m/s)⁻¹, for different types of transported cargo

Транспортований вантаж	ξ_{opt}
Пісок	770
Ґрунт	850
Гравій	958
Щебінь	998

Примітка: кут нахилу конвеєра – 22°

Наукова новизна та практична значимість

У роботі отримано залежності питомих енерговитрат від проектних параметрів стрічкового конвеєра, що дозволило встановити оптимальні значення ширини стрічки та відношення продуктивності конвеєра до швидкості стрічки для різних видів транспортованого вантажу. Результати роботи можуть бути використані під час проектування енергоефективних стрічкових

МАШИНОБУДУВАННЯ

конвеєрів, які характеризуються найменшими питомими енерговитратами на транспортування вантажу.

Висновки

Аналіз наведених результатів дозволяє дійти таких висновків:

– оптимальне значення ширини стрічки, за якого питомі енерговитрати є мінімальними, залежить тільки від кута нахилу конвеєра (більшою мірою) та від коефіцієнтів, які визначають втрати енергії, зокрема коефіцієнта опору руху стрічки; при цьому вплив коефіцієнта опору руху стрічки зростає зі збільшенням кута нахилу конвеєра;

– оптимальне значення ширини стрічки не залежить від довжини конвеєра, його продуктивності та швидкості руху стрічки;

– під час проведення оптимізації стрічкового конвеєра доцільного говорити не про його оптимальну продуктивність та оптимальну швидкість руху стрічки, а про оптимальне співвідношення цих величин; зокрема, встановлено, що оптимальне співвідношення продуктивності конвеєра та швидкості руху стрічки під час транспортування піску становить $770 \text{ (т/год)} \cdot \text{(м/с)}^{-1}$ за кута нахилу конвеєра 22° ; за тих самих умов таке співвідношення для ґрунту – $850 \text{ (т/год)} \cdot \text{(м/с)}^{-1}$, для гравію – $958 \text{ (т/год)} \cdot \text{(м/с)}^{-1}$, для щебеню – $998 \text{ (т/год)} \cdot \text{(м/с)}^{-1}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богомаз В. М., Боренко М. В., Нечай І. В., Северин О. П. Якісний аналіз залежності потужності приводу стрічкового горизонтально-похилого конвеєра від його вихідних параметрів. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 1 (67). С. 143–155. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94036>
2. Бондарев В. С., Дубинець О. І., Колісник М. П., Бондарев С. В., Горбатенко Ю. П., Барабанов В. Я. *Підійомно-транспортні машини. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин*. Київ : Вища школа, 2009. 734 с.
3. Коруняк П., Баранович С., Ковальчук Т., Форнальчик Є. Шляхи вдосконалення конструкцій стрічкових конвеєрів. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 74–78.
4. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Кульпін Р. А. Оптимізація режиму пуску стрічкового конвеєра за комплексним критерієм. *Науковий журнал «Техніка та енергетика»*. 2019. № 10 (2). С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.02.005>
5. Ловейкін В., Ромасевич Ю., Шалатовська К., Науменко П. Оптимізація керування рухом стрічкового конвеєра у перехідних режимах. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2017. № 89. С. 16–23.
6. Ромакин Н. Е. *Машины непрерывного транспорта*. Москва : Академия, 2008. 432 с.
7. Ромасевич Ю. О. Аналіз перехідних режимів руху стрічкових конвеєрів. *Подъемно-транспортная техника*. 2018. № 1 (57). С. 66–75.
8. Стаднік М. І., Видмиш А. А. Дослідження пуску стрічкових конвеєрів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 3 (102). С. 98–104.
9. Bohomaz V. M. Research of dependence of belt conveyer drive power on its design parameters. *Science and Transport Progress*. 2016. № 1 (61). P. 131–146. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/61024>
10. He D., Liu X., Zhong B. Sustainable belt conveyor operation by active speed control. *Measurement*. 2020. Vol. 154. P. 107458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107458>
11. Gładysiewicz L., Król R., Kisielowski W. Measurements of loads on belt conveyor idlers operated in real conditions. *Measurement*. 2019. Vol. 134. P. 336–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.068>
12. Li J., Pang X. Belt conveyor dynamic characteristics and influential factors. *Shock and Vibration*. 2018. Vol. 2018. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/8106879>
13. Raksha S. V., Kuropiatnyk O. S., Krasnoshechok O. L. Justification of criteria for ropeways energy efficiency. *Science and Transport Progress*. 2019. № 6 (84). P. 60–71. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/195601>

O. S. KUROIATNYK^{1*}

^{1*}Dep. «Applied Mechanics and Materials Science», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

Parametric Optimization of Belt Conveyors by Energy Efficiency Criterion

Purpose. The purpose of this work is to substantiate the optimal values of the belt conveyor parameters, at which the specific energy consumption for the cargo transportation takes on the lowest value. **Methodology.** The substantiation of the optimal values of the belt conveyor parameters was carried out by minimizing the function of specific energy consumption, which represents the energy consumption for the transportation of a cargo weighing 1 kg at a distance of 1 m. In the course of research, the drive force was determined using the contour bypass method. In this case, the specific loads from the transported cargo, belt and roller supports were presented as functions of the belt width. To establish the optimal values of the conveyor productivity and belt speed, the belt width was presented as a function of these values, taking into account the physical and mechanical properties of the transported cargo, the design features of the roller supports and the belt angle. **Findings.** I obtained the dependences of specific energy consumption on the design parameters of the conveyor. Their analysis made it possible to identify the optimal values of the belt width, conveyor productivity, belt speed, and the optimal ratio of the last two values for different types of transported cargo. It is noted that the results obtained can be supplemented by carrying out calculations according to the formula given in this work. It has been established that the optimal value of the belt width depends only on the belt angle and on the coefficients that determine the energy losses, in particular the movement resistance coefficient of the belt; the influence of the specified coefficient increases with an increase in the belt angle. In addition, the optimal value of the belt width does not depend on the conveyor length, its productivity and belt speed. **Originality.** The dependences of the specific energy consumption on the design parameters of the belt conveyor were obtained, which made it possible to establish the optimal values of the belt width and the ratio of the conveyor productivity to the belt speed. **Practical value.** The results of this work can be used in the design of energy-efficient belt conveyors, which are characterized by the lowest specific energy consumption for cargo transportation.

Keywords: belt conveyor; energy efficiency; productivity; belt width; optimization

REFERENCES

1. Bohomaz, V. M., Borenko, M. V., Nechay, I. V., & Severyn, O. P. (2017). Qualitative analysis of dependence of drive power horizontal-inclined belt conveyor on its initial parameters. *Science and Transport Progress*, 1(67), 143-155. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94036> (in Ukrainian)
2. Bondariev, V. S., Dubynets, O. I., Kolisnyk, M. P., Bondariev, S. V., Horbatenko, Yu. P., & Barabanov, V. Ya. (2009). *Pidjomno-transportni mashyny. Rozrakhunky pidjmaljnykh i transportovaljnykh mashyn*. Kyiv: Vyshha shkola. (in Ukrainian)
3. Korunyak, P., Baranovych, S., Kovalchuk, T., & Fornalchuk, Ye. (2014). Methods to improve designs conveyor belt. *Journal of Lviv National Agrarian University: agronomy*, 18, 74-78 (in Ukrainian)
4. Loveikin, V. S., Romasevych, Y. O., & Kulpin, R. A. (2019). Optimization of belt conveyor start by complex criteria. *Machinery & Energetics*, 10(2), 5-11. DOI: <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.02.005> (in Ukrainian)
5. Loveikin, V., Romasevych, O., Shalatovska, K., & Naumenko, P. (2017). Optimal control of conveyor belt movement in transient regimes. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, 89, 16-23 (in Ukrainian)
6. Romakin, N. Ye. (2008). *Mashyny nepreryvnogo transporta*. Moscow: Akademiya. (in Russian)
7. Romasevych, Yu. O. (2018). Analiz perekhidnykh rezhymiv rukhu strichkovykh konveieriv. *Hebezeuge und Fördermittel*, 1(57), 66-75. (in Ukrainian)
8. Stadnik, M. I., & Vidmish, A. A. (2018). Study of starting of belt conveyors. *Engineering, energy, transport AIC*, 3(102), 98-104 (in Ukrainian)
9. Bohomaz, V. M. (2016). Research of dependence of belt conveyor drive power on its design parameters. *Science and Transport Progress*, 1(61), 131-146. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/61024> (in English)
10. He, D., Liu, X., & Zhong, B. (2020). Sustainable belt conveyor operation by active speed control. *Measurement*, 154, 107458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107458> (in English)

МАШИНОБУДУВАННЯ

11. Gładysiewicz, L., Król, R., & Kisielewski, W. (2019). Measurements of loads on belt conveyor idlers operated in real conditions. *Measurement*, 134, 336-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.068> (in English)
12. Li, J., & Pang, X. (2018). Belt conveyor dynamic characteristics and influential factors. *Shock and Vibration*, 2018, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/8106879> (in English)
13. Raksha, S. V., Kuropiatnyk, O. S., & Krasnoshchok, O. L. (2019). Justification of criteria for ropeways energy efficiency. *Science and Transport Progress*, 6(64), 60-71. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/195601> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.02.2021

Прийнята до друку: 11.06.2021