

РОТКО М.О., студ., НЕМЦЕВ Е.М. ст.викл. (КП ДонНТУ)  
**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРІВ РУХУ НА КРОК УСТАНОВКИ  
РОЛИКООПОР СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА**

*Розглянуто можливість збільшення кроку встановлення роликоопор на стрічковому конвеєрі. Визначено вплив опорів, що виникають при русі навантаженої конвеєрної стрічки, на величину кроку встановлення роликоопор.*

Конвеєрний транспорт є найбільш прогресивним та економічно ефективним видом транспорту основного вантажу на гірничому підприємстві. Він має високі експлуатаційні характеристики, великий діапазон продуктивності й високі економічні показники поряд з такими незаперечними перевагами як невелика маса, відносно невелика енергоємність транспортування і т.ін.

Існують багато напрямів удосконалення стрічкових конвеєрів. Одним з цих напрямків є дослідження в області визначення оптимального кроку установки роликоопор. Розв'язання цієї проблеми дозволить скоротити як капітальні, так і експлуатаційні витрати, отже собівартість транспортування вугілля, і, зрештою, дозволить знизити собівартість вугілля. На даний момент значення відстані між роликооперами шахтних стрічкових конвеєрів недостатньо обґрунтована. Ця задача піднімалася різними вченими в різний час. Наприклад, Штокман І.Г., Эппель Л.І., Филимонов А.М. у книзі "Експлуатація підземних конвеєрів" [6] досліджували залежність відстані між роликооперами за умовою забезпечення нормального прогину стрічки між роликооперами. Також проблема відстані між роликооперами вирішувалася Співаковським А.О. [4] і Левінсоном В.Н. [1].

Розв'язання зазначеної проблеми дозволить скоротити кількість роликоопор по довжині конвеєра, що дозволить знизити капітальні витрати (встановлення меншої кількості роликоопор), також зменшаться витрати на обслуговування, монтаж роликоопор, що дозволить знизити собівартість транспортування, а, отже, і собівартість вугілля, що добувається.

Найважливішим параметром, що визначає продуктивність, довжину і потужність двигуна стрічкового конвеєра, є опір руху стрічки по роликам. У розрахунках цей опір вважають пропорційним нормальній складовій ваги частин, що рухаються, а коефіцієнт пропорційності називають коефіцієнтом опору руху стрічки  $W'$ . На цей коефіцієнт впливають багато факторів: тип стрічки, первісний натяг, швидкість стрічки, конструкції роликоопор і відстані між ними. Для рішення питання про раціональний крок установки роликоопор необхідно зробити аналіз залежності коефіцієнта опору руху стрічки від відстані між роликооперами. Маємо дані [4], [3], які показують, що зі збільшенням відстані між роликооперами збільшується витрата енергії на переміщення стрічки, тому що при цьому зростає опір її руху, а, отже, і коефіцієнт опору руху. По дослідженнях опору руху стрічки найбільш фундаментальними є роботи Співаковського А.О. [4], що вперше розчленував опір руху на окремі складові і піддав кожному складовому ретельному вивченню.

У світлі поставленого питання необхідно оцінити кожен зі складових опор руху якісно і кількісно, і, розглянувши різні варіанти установки роликоопор на конвеєр, одержати залежність коефіцієнта опору руху стрічки при перемінному кроці установки роликоопор.

При обертанні роликів роликоопор виникають опори від тертя в підшипниках і ущільненнях роликів. Опір обертанню роликів досліджувалися Дмитрієвим,

Співаковским [4]. Ними виявлений загальний закон цього опору: "Опір обертанню конвеєрного ролика практично не залежать від осевого навантаження, тобто від підтримуючих ними вантаже і, отже, від своєї ваги і є лінійною функцією швидкості стрічки. При досить великій швидкості стрічки лінійність функції порушується.

Для роликів із твердою віссю і лабіринтовим ущільненням Співаковський А.О. рекомендує приймати опір обертанню роликів

$$W_p = 0,1 + 0,03V, \quad (1)$$

де  $V$  – швидкість руху стрічки, м/с.

Тоді опір обертанню роликів для навантаженої гілки довжиною  $L$  дорівнює, Н:

$$W_{p.гр} = W_p \frac{L}{l'_p} \cdot 3, \quad (2)$$

для порожньої гілки, Н:

$$W_{p.пор} = W_p \frac{L}{l''_p}.$$

Коефіцієнт опору обертанню роликів дорівнює

$$W'_p = \frac{W_p \frac{L}{l'_p} \cdot 3}{(q + q_n + q'_p)L} = \frac{3W_p}{(q + q_n)l'_p + 3G'_p}, \quad (3)$$

де  $l'_p$  – крок роликкоопор навантаженої гілки, м,

$l''_p$  – крок роликкоопор порожньої гілки, м,

$q, q_n, q'_p$  – погонна вага вантажу, стрічки та обертових частин роликкоопор, кг/м.

З виразу (3) видно, що за мірою збільшення кроку установки роликкоопор коефіцієнт опору обертанню роликів зменшується.

В даний час вважається, що основним фактором, що визначає опір руху стрічки по роликам удавлення роликів у стрічку. Цей опір складає близько 30% від загального опору руху стрічки. Цієї точки зору дотримується Співаковський А.О. [4].

Згідно [4], Н

$$W_{вд} = 1,41\psi \sqrt{\frac{G^3}{E \cdot R \cdot B}}, \quad (4)$$

де  $G$  – вага матеріалу й стрічки, що приходиться на ролик, кг,

$R$  – радіус ролика, см,

$E$  – модуль пружності налагодження на стиск, кг/см<sup>2</sup>,

$\psi$  – показник стиску.

Рекомендується приймати  $\psi = 0,17$  для навантажених роликів,  $\psi = 0,32$  для ненавантажених роликів. Модуль пружності обкладки на стискання А.О.Співаковський рекомендує приймати таким, що дорівнює  $E = 50-55$  кг/см<sup>2</sup>.

Стрічка між роликами провисає в залежності від відстані між роликкооперами, погонного навантаження, натягу й пружності стрічки.

У [2] наведена залежність для визначення опору при вигині стрічки. Розрахунки показують, що опір від вигину стрічки на роликах складають менш 2% від загального

опору руху стрічки. Через малість цього опору його зміною, при зміні відстаней між роликкооперами можна зневажити.

При русі стрічки відбувається безперервне "ворушіння" матеріалу на стрічці. Енергія, витрачена на зміну форми матеріалу, безперервно йде на нагрівання матеріалу й стрічки, на їх стирання й інші втрати. Експерименти показали, що відбувається безперервне переміщення матеріалу на стрічці. У [5] запропонована методика для визначення втрат енергії йде на "ворушіння" матеріалу. Суть його полягає в наступному. При вході порції насипного вантажу на роликкоопору стрічка здавлює його, у цьому випадку виникає пасивний тиск насипного вантажу. Після проходження роликкоопори вантаж під дією активного тиску змінює свою форму. Пасивний тиск насипного вантажу завжди більше активного.

Для подолання опору деформації насипного вантажу потрібно здійснення певної роботи. Частина її повертається в систему у вигляді активної роботи при розвалі насипного вантажу. При цьому вводиться поняття коефіцієнта питомих втрат на "ворушіння" вантажу. Він показує, яку частину від активної роботи складають втрати на "ворушіння" за один цикл (стиск–розвалювання).

$$\varphi = \frac{\Delta\Pi_{\text{шев}}}{A_{\text{акт}}}, \quad (5)$$

де  $\Delta\Pi_{\text{шев}}$  – втрати енергії на "ворушіння" насипного вантажу.

Згідно [4] коефіцієнт питомих витрат на "ворушіння" був визначений експериментально для різних матеріалів: для гравія – 3,5, для піску – 4,6, для глини – 3,0, для вугілля – 2,7.

Коефіцієнт  $\varphi$  не залежить від кута нахилу бічних роликів і величини кута розвалу стрічки між роликкооперами в межах 1–4°.

При частоті коливань

$$\nu = \frac{V_{\text{п}}}{l'_{\text{р}}} \leq 3 \text{ Гц}, \quad (6)$$

Коефіцієнт питомих втрат залишається практично постійним, а при подальшому зростанні коливань збільшується.

З виразу (5) виходить, що втрата енергії на "ворушіння" насипного вантажу дорівнює:

$$\Delta\Pi_{\text{шев}} = \varphi A_{\text{акт}}, \quad (7)$$

Активна робота визначається аналітично за виразом:

$$A_{\text{акт}} = \iint_s P(x, y) \omega(x, y) dx dy, \quad (8)$$

де  $P(x, y)$  – тиск насипного вантажу на елемент площі,

$\omega(x, y)$  – переміщення елемента площі під тиском сили.

Втрата енергії на "ворушіння" еквівалентна роботі деякої сили опору  $F$ , за період  $t$ :

$$t = \frac{l'_{\text{р}}}{V_{\text{п}}}. \quad (9)$$

Тоді потужність втрат дорівнює:

$$N_{\text{пот}} = \frac{\Delta \Pi_{\text{втр}}}{t} = \varphi \frac{A_{\text{акт}} \cdot V_{\text{л}}}{l'_p}, \quad (10)$$

$$N_{\text{пот}} = F \cdot V_{\text{л}} = \varphi \frac{A_{\text{акт}} \cdot V_{\text{л}}}{l'_p}. \quad (11)$$

Таким чином,

$$F = \varphi \frac{A_{\text{акт}}}{l'_p}. \quad (12)$$

Тоді коефіцієнт опору руху від "ворушіння" дорівнює

$$W'_{\text{вор}} = \frac{A}{W_{\text{гр}}} \cdot \ln \left( 1 + \frac{W_{\text{гр}}}{1} \right), \quad (13)$$

Дана формула отримана при введенні поняття інтегрального коефіцієнта опору руху від "ворушіння", де

$$A = 0,067 \frac{\varphi}{\sum q} BC^2 \cdot a \cdot l'_p \cdot \left( h_0 + \frac{a}{p} \text{tg} \varphi \right)^2, \quad (14)$$

$$C = \left[ \left( \frac{a^2 + (l'_p)^2}{a^2 \cdot (l'_p)^2} \right) D + N_{1y} \frac{1}{a^2} + \frac{S}{B \cdot l'_p} \right] \cdot B \cdot (l'_p)^2. \quad (15)$$

Аналіз формули (13) показує, що:

- при збільшенні опору руху ділянки конвеєра відбувається нелінійне зменшення  $W'_{\text{вор}}$ ,
- зі збільшенням кроку установки роликкоопор відбувається збільшення  $W'_{\text{вор}}$ , причому більш інтенсивне при малих натягах,
- початковий натяг впливає на  $W'_{\text{вор}}$ ,
- зі збільшенням кута нахилу бічних роликів  $W'_{\text{вор}}$  зростає приблизно на 5–7% на кожні  $10^\circ$ ,
- зі збільшенням швидкості руху стрічки відбувається збільшення  $W'_{\text{вор}}$ .

Для усунення збігання стрічки убік бічні ролики встановлюються з невеликим відхиленням уперед по ходу руху стрічки на кут  $\Theta=2-4^\circ$ . Крім того, через неточність монтажу багато роликкоопор встановлено з деяким перекосом щодо осі конвеєра на кут  $\gamma$ . Згідно [6]:

$$W_{\text{п}} = (q + q_{\text{л}})L \cdot f [0,15 \cos \alpha \sin(\Theta + \alpha) + 0,15 \cos \alpha \sin(\Theta - \gamma) + 0,7 \sin \gamma], \quad (16)$$

де  $W_{\text{п}}$  – опір руху стрічки, що враховує перекіс роликів,

$\alpha$  – кут нахилу бічних роликів,

$\gamma$  – кут перекосу роликкоопори, що залежить від точності монтажу,  $\gamma = 1-2^\circ$ ,

$f = 0,2 - 0,6$  – коефіцієнт тертя стрічки по ролику.

А.О. Співаковський рекомендує формули для розрахунку зосереджених опорів. розрахунки по цим формулам показують, що ці опори складають 5–15% від опору на горизонтальне переміщення вантажу.

З огляду на те, що ці опори не роблять істотного впливу на зміну коефіцієнта опору руху, при розрахунку їх приймають такими, що дорівнюють частини відомих опорів

$$W_c = \frac{(0,05 \div 0,15)}{(W_p + W_{вд} + W_{пер})}, \quad (17)$$

Загальний коефіцієнт опору руху стрічки можна представити у виді

$$W' = W'_{вор} + W'_{доп}, \quad (18)$$

де  $W'_{доп} = \frac{W_p + W_{пер} + W_{вд} + W_c}{(q + q_n + q'_p) L \cdot \cos \beta}$  – коефіцієнт опору, що доповнює, руху стрічки.

Опір руху ділянки конвеєра можна визначити за формулою:

$$W = [(q + q_n + q'_p)(W'_{шев} + W'_{дон}) \cos \beta \pm (q + q_n) \sin \beta] \cdot L, \quad (19)$$

Заміняючи  $W'_{вор}$  його значенням (2.6), отримаємо:

$$\frac{W_{гр}}{F} - D = \frac{A}{W_{зп}} \cdot \ln \left( 1 + \frac{W_{зп}}{C} \right) + W'_{дон}, \quad (20)$$

де  $F = (q + q_n + q'_p) \cdot L \cos \beta$ ,

$$D = \pm \frac{q + q_n}{q + q_n + q'_p} \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

У рівнянні (20) величина  $W_{гр}$  задана неявно. Розв'язати це рівняння відносно  $W_{гр}$  не представляється можливим. Знайти значення  $W_{гр}$  можна методом підбору, що незручно. Однак можна розв'язати рівняння (20) з достатнім ступенем точності, представивши логарифм за допомогою ряду:

$$\ln(1 + \alpha) = \alpha - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} - \frac{\alpha^4}{4} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{\alpha^n}{n} \pm \dots$$

Доведено, що цей ряд сходиться в інтервалі  $-1 < \alpha \leq 1$ .

Розрахунки показують, що для шахтних конвеєрів відношення  $\frac{W_{гр}}{C}$  лежить в інтервалі 0–1. Узявши перші три члени ряду (похибка при цьому менша за 1%), вираз (20) можна представити у вигляді:

$$\frac{W_{\text{гр}}}{F} - D = \frac{A}{W_{\text{zp}}} \left[ \frac{W_{\text{zp}}}{C} - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{W_{\text{zp}}}{C} \right)^2 + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{W_{\text{zp}}}{C} \right)^3 \right] + W'_{\text{доп}}, \quad (21)$$

Рівняння (21) є квадратним рівнянням виду  $W_{\text{гр}}^2 - W_{\text{zp}} p + r = 0$ ,

де 
$$p = \frac{3C^3}{A \cdot F} + \frac{2}{3} C, \quad r = \frac{3C^3}{A} (D + W'_{\text{доп}}) + 3C^2.$$

Обчисливши коефіцієнти  $A$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $F$  і  $W'_{\text{доп}}$  за виразом (21), можна визначити опір руху на будь-якій ділянці конвеєра з даним кроком роликкоопор.

Висновок:

В даний час немає методики визначення кроку установки роликкоопор по довжині стрічкового конвеєра. Прийняті відстані між роликкооперами, виходячи з мінімального натягу стрічки, є недостатньо обґрунтованими і не враховують умов роботи конвеєра. Основними факторами, що впливають на крок установки роликкоопор є: кут підходу стрічки до ролика, виположування стрічки, зміна коефіцієнту опору руху стрічки, довговічність підшипникових вузлів роликкоопор, економічна доцільність.

На підставі вищезазначеного можна зробити наступні висновки:

1. Відстані між роликкооперами, виходячи з припустимого кута підходу стрічки до ролика, можуть бути значно збільшені по довжині стрічкового конвеєра (за мірою збільшення натягу стрічки),
2. Виположування стрічки між роликкооперами не робить перешкод для збільшення відстаней між ними,
3. Збільшення відстаней між роликкооперами веде до збільшення опору руху стрічки, а значить до підвищення витрати енергії, що необхідно враховувати в економічних розрахунках,
4. Збільшення відстані між роликкооперами дозволить знизити капітальні витрати, експлуатаційні витрати і трудомісткість обслуговування конвеєра.

Література:

1. Левинсон В.Н. Транспортные устройства непрерывного транспорта. –М.: Машгиз, 1960. – 237с. (5)
2. Машины непрерывного транспорта. Под ред. В.И. Плавинского. –М.: Машиностроение, 1969. –719с. (8)
3. Поляков Н.С., Штокман И.Г. Основы теории и расчета рудничных транспортных установок. –М.: Госгортехиздат, 1962. –491с. (7)
4. Спиваковский А.О., Дмитриев В.Г. Теория ленточных конвейеров. –М.: Наука, 1982. –192с. (1)
5. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. –М.: Машиностроение, 1983. –487с. (6)
6. Штокман И.Г., Эппель Л.И., Филиппов А.М. Эксплуатация подземных конвейеров. –М.: Госгортехиздат, 1963. –198с. (2)