

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ ГВИНТОВИМИ РОЛИКОВИМИ КОНВЕЄРАМИ

Описано нову конструкцію гвинтового вертикально-роликового конвеєра з привідними елементами. Досліджено кінематику руху вантажів з виведенням аналітичних залежностей і встановлено режими транспортування вантажів.

Умовні позначення

$G = Mg \cos \gamma$ - складова ваги вантажу у напрямку, перпендикулярному до площини скочування;

γ - кут підйому гвинтової лінії конвеєра;

$G_P = m_P g$ - вага ролика;

n - кількість роликів, на які одночасно опирається вантаж;

f - коефіцієнт тертя у підшипниках;

d і D - відповідно, діаметри цапфи осі ролика та його зовнішньої поверхні;

μ - коефіцієнт тертя кочення вантажу по ролику;

v - швидкість руху вантажу;

l - довжина вантажу;

ψ - коефіцієнт приведення маси ролика ($\psi = 0,8..0,9$);

R_K - радіус гвинтового конвеєра у місці розташування центра мас вантажу;

n_K - кількість привідних роликів на одному витку конвеєра;

v_1 - кінцева швидкість вантажу перед початком взаємодії з привідним роликом;

F_C - величина доцентрової сили;

v_0 - початкова швидкість на етапі вільного скочування вантажу.

Створення сучасних автоматизованих виробництв пов'язане з підвищенням швидкості виконання технологічного процесу, що не в останню чергу забезпечується вчасним і цілеспрямованим переміщенням вантажів до місця виконання певної операції. Велику роль в цьому відіграють транспортні механізми, одним із яких є роликовий гвинтовий конвеєр.

Питання дослідження роботи роликових конвеєрів різноманітної конструкції розглянуті в роботах [1, 2, 3]. Однак питанню привідних гвинтових роликових конвеєрів у літературі приділено мало уваги, розглядаються приводи лише для горизонтальних прямолінійних роликових конвеєрів з обмеженими технологічними можливостями.

Гвинтові роликові конвеєри належать до гравітаційних транспортних систем. Головною рушійною силою транспортування в ньому є сила земного тяжіння. Проте звичайні гвинтові конвеєри мають суттєві недоліки, одним із яких є нестабільність руху вантажу при його переміщенні. При великих кутах гвинтової лінії вантаж значно розганяється і може вийти в бік за межі конвеєра. У випадку малих кутів можливе повне гальмування вантажів на конвеєрі, що призводить до їх скупчення та порушення технологічного процесу.

Тому метою даної роботи є визначення напрямків підвищення експлуатаційних показників роботи гвинтових роликових конвеєрів з привідними механізмами (рис. 1) за рахунок раціонального вибору конструктивних параметрів вказаного конвеєра при забезпеченні стабільності технологічного процесу транспортування.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі" на 2002-2006 рік.

Гвинтовий роликовий конвеєр (рис. 1) складається з вертикальної рами 1, до якої жорстко закріплені гвинтові зовнішні 2 і внутрішні 3 несучі елементи, в які вставлені

конічні ролики 4, які утворюють гвинтове пруткове полотно. Конічні ролики по зовнішньому діаметрі покриті гумою 5 або пластичною масою для забезпечення високих фрикційних властивостей при їх взаємодії з вантажами, які переміщуються.

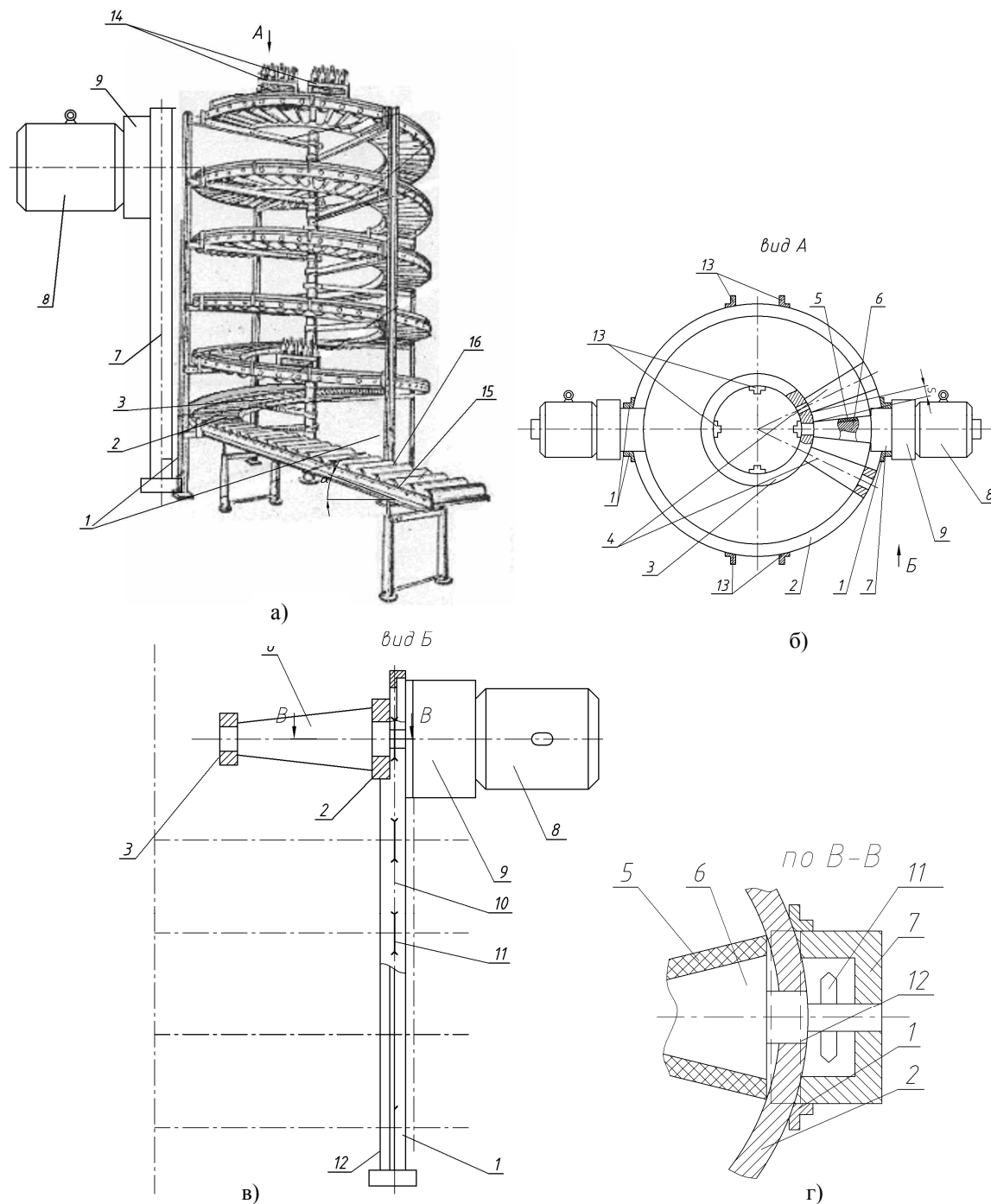


Рис. 1. Загальний вигляд гвинтового роликового конвеєра з приводним механізмом [4]

Характерною особливістю пруткового полотна є те, що між конічними роликами, які вільно обертаються в своїх опорах, рівномірно по колу конвеєра встановлено приводні ролики 6, а їх кількість визначається умовами транспортування. В даному випадку їх є по два на одному умовному колі (одному витку). Причому величина зазору між конічними роликами вибирається в межах від 0 до 20 мм в залежності від габаритів вантажів і умов роботи.

До вертикальної рами 1 по зовнішньому діаметру рівномірно по колу жорстко закріплені пустотілі колони 7 Г-подібного поперечного січення, зверху яких жорстко закріплені приводи – електродвигуни 8 з редукторами 9. Від останнього за допомогою

ланцюгової передачі 10 приводяться в рух зірочки 11, які жорстко закріплені на привідних конічних роликах 6, які розміщені по вертикалі на кожному витку пруткового полотна в діаметрально протилежних точках (в даному випадку по 2 на рис. 1б), а на рис. 1а і рис. 1в зображено тільки по одному з метою не нагромадження рисунків.

Причому з внутрішнього боку конвеєра пустотілі колони 7 прямокутного сичення виконані у вигляді вертикальних стійок 12 з відповідними отворами під кінці привідних роликів 6, а з боку більшого діаметра до роликів жорстко закріплені зірочки 11. Для забезпечення міцності і жорсткості конструкції рами до неї рівномірно по колу (до несучих елементів 2 і 3) жорстко приварені вертикальні елементи 13.

Вантажі 14 для транспортування встановлюються на роликах 4 і 6.

У разі необхідності електродвигуни 8 з редукторами 9 можна розмістити в нижній частині вертикальних колон 7.

На виході конвеєра є прямолінійна роликова дільниця 15, яка встановлена під кутом до горизонту, що дорівнює куту підйому гвинтової лінії з циліндричними роликами 16 без приводів.

Робота гвинтового ролика конвеєра здійснюється наступним чином.

Вантажі 14 встановлюють на гвинтове пруткове полотно через конічні ролики 4 і 6. Вмикають електродвигуни 8 і привідні ролики 6, провертаючись, переміщують вантажі по гвинтовій поверхні. Враховуючи, що кут нахилу гвинтового полотна з роликами великий, то зусилля переміщення є незначним.

Крім цього, привідні ролики, які розміщені на нижніх витках конвеєра, виконують подвійну роль. По-перше, вони приводять в рух вантажі і забезпечують їх переміщення вниз, а по-друге, в разі потреби, зменшують швидкість вантажів 14 при їх русі вниз. На виході конвеєра вантажі виходять на прямолінійну дільницю 15 з циліндричними роликами 16, де їх знімають і складають.

З метою усунення вказаних недоліків запропоновано використовувати гвинтовий конвеєр із привідними роликами, які встановлені через певний проміжок (1..4 на виток). Вантажі, рухаючись по привідних роликах, стабілізують свою швидкість.

Для розрахунку параметрів руху вантажів по роликах необхідно розглянути динамічну модель процесу транспортування на всіх етапах руху і визначити залежність швидкості транспортування від основних параметрів конвеєра.

При цьому існує три етапи руху вантажу по гвинтових конвеєрах із привідними роликами:

1. Рух вантажу з певною початковою швидкістю по звичайних роликах до моменту дотику вантажу із привідним роликом.
2. Рух вантажу по привідному ролику із швидкістю, яка не дорівнює коловій швидкості обертання ролика, при цьому відбувається пригальмовування або розгін вантажу до моменту вирівнювання швидкостей.
3. Рух вантажу по привідному ролику без проковзування (швидкості рівні).

Третій етап руху може і не наступити у випадку, коли вантаж пройде привідний ролик, а швидкість його не зрівняється зі швидкістю ролика.

У загальному випадку на вантаж діють такі сили (рис.2):

1. Сила ваги Mg .
2. Сила опору з боку роликів F_T
3. Привідна (гальмуюча) сила з боку привідного ролика F_m

Сила опору роликів F_T складається із трьох складових [1]:

1. Сила тертя в цапфах підшипників

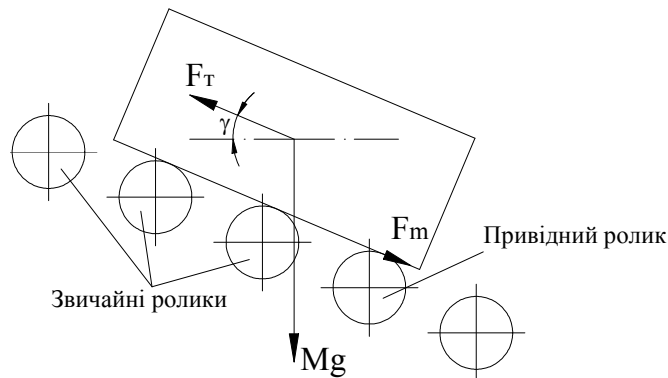
$$F_1 = (G + G_P n) f \frac{d}{D}.$$

2. Сила тертя кочення

$$F_2 = G \frac{2\mu}{D}.$$

3. Сила, яка викликає розгін ролика до певної швидкості

$$F_3 = \psi G_P \frac{v^2 n}{gl}.$$



F_m - сила опору транспортному вантажу звичайних роликів
 F_T - сила транспортному вантажу з приводним роликом

Рис. 2. Розрахункова схема переміщення вантажу в гвинтовому роликовому конвеєрі

Тому рух вантажу при опусканні по гвинтовому конвеєру між приводними роликами описується наступним диференціальним рівнянням

$$M \frac{dv}{dt} = Mg \sin \gamma - Mg \cos \gamma \left(f \frac{d}{D} + \frac{2\mu}{D} \right) - nm_P g f \frac{d}{D} - nm_P \psi \frac{v^2}{l}. \quad (1)$$

Останній доданок сили опору залежить від швидкості руху вантажу в квадратичній залежності. Розв'язок диференціального рівняння руху з квадратичним членом є достатньо складною математичною задачею, однак у нашому випадку рівняння руху вантажу описується диференціальним рівнянням першого порядку типу Ріккати, яке має аналітичний розв'язок.

Після перетворень та зведення подібних членів рівняння (1) набуде вигляду

$$\frac{dv}{dt} + nK_m \psi \frac{v^2}{l} = g(\sin \gamma - \cos \gamma \left(f \frac{d}{D} + \frac{2\mu}{D} \right) - nK_m f \frac{d}{D}), \quad (2)$$

де $K_m = \frac{m_P}{M}$.

У правій частині наявні лише сталі величини, тому розв'язок рівняння (2) згідно з [4] має вид

- при розгоні вантажу

$$v = v_0 \sqrt{K_P} + g(\sin \gamma - \cos \gamma \left(f \frac{d}{D} + \frac{2\mu}{D} \right) - nK_m f \frac{d}{D}) \operatorname{th}(\sqrt{K_P} t) / (\sqrt{K_P} + v_0 \frac{nK_m \psi}{l} \operatorname{th}(\sqrt{K_P} t)), \quad (3)$$

- при гальмуванні вантажу

$$v = v_0 \sqrt{-K_P} + g(\sin \gamma - \cos \gamma \left(f \frac{d}{D} + \frac{2\mu}{D} \right) - nK_m f \frac{d}{D}) \operatorname{tg}(\sqrt{-K_P} t) / (\sqrt{-K_P} + v_0 \frac{nK_m \psi}{l} \operatorname{tg}(\sqrt{-K_P} t)); \quad (4)$$

де $K_P = \frac{nK_m \psi}{l} g(\sin \gamma - \cos \gamma \left(f \frac{d}{D} + \frac{2\mu}{D} \right) - nK_m f \frac{d}{D})$.

Шлях переміщення вантажу при вільному скочуванні можна визначити інтегруванням виразів (3) або (4) за часом. Внаслідок надто громіздких виразів краще інтегрування здійснити чисельним методом. Кінець першого етапу руху настане тоді, коли вантаж пройде шлях

$$s_1 = \frac{2\pi R_K}{n_K \cos \gamma} - l. \quad (5)$$

Тому час, який пройде до контакту вантажу із привідним роликом визначиться із методу чисельного розв'язку, коли здійсниться умова $s = s_1$.

При попаданні вантажу на привідний ролик на нього в основному діє сила опору від цього ролика, яка направлена в бік, протилежний різниці швидкостей вантажу і ролика і дорівнює половині сили тертя вантажу об привідний ролик

$$F_m = 0,5 M g f_m \cos \gamma. \quad (6)$$

Множник 0,5 пояснюється тим, що в середньому половина ваги вантажу сприймається привідним роликом, а інша – сприймається звичайним роликом. Для більш ефективної взаємодії ролика із вантажем доцільно ролик виготовляти із високофрикційного матеріалу (резина, пластмаса тощо). При цьому вищенаведені складові сили опору можна не враховувати внаслідок того, що при взаємодії привідного ролика і вантажу наявність таких складових компенсується силою двигуна, яка обертає ролик, тому рівняння руху набуває вигляду

$$\frac{dv}{dt} = g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma). \quad (7)$$

Розв'язок рівняння (7) з врахуванням початкових умов, що дорівнюють кінцевим у момент дотику, простий і описується формулою

$$v = g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)t + v_1. \quad (8)$$

Інтегруванням отримаємо шлях

$$s = g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)\frac{t^2}{2} + v_1 t. \quad (9)$$

Другий етап руху триватиме до тих пір поки швидкість вантажу не досягне швидкості ролика ($v = v_P$) або, в іншому випадку, вантаж пройде шлях l , не встигнувши зрівняти швидкості (це можливе при малому коефіцієнті зчеплення привідного ролика із вантажем).

У першому випадку час взаємодії

$$t_2 = \frac{v_P - v_1}{g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)}. \quad (10)$$

Якщо за цей час шлях, що визначається формулою (9), більший за довжину вантажу l , тоді визначаємо час, за який вантаж пройде над привідним роликом із формули (9), поклавши $s = l$

$$t_2 = \frac{-v_1 + \sqrt{v_1^2 + 2gl(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)}}{g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)}. \quad (11)$$

Ця величина менша, ніж за формулою (10), а тому визначаємо кінцеву швидкість на другому етапі за формулою (8), підставивши в неї менше значення часу із формул (10) чи (11).

Третій етап руху з постійною швидкістю, що дорівнює швидкості руху привідного ролика, матиме місце, коли час визначився з формули (10). В цьому випадку вантаж пройде шлях

$$s_3 = l - g(\sin \gamma - 0,5 f_m \cos \gamma)\frac{t_2^2}{2} - v_1 t_2. \quad (12)$$

Час третього етапу

$$t_3 = \frac{s_3}{v_P}. \quad (13)$$

Таким чином, послідовно переходячи із одного режиму руху до іншого, опишемо рух вантажу по гвинтовому конвеєру до досягнення ним кінцевої точки.

На основі описаної методики було розроблено програму розрахунку швидкості вантажу, що опускається за допомогою гвинтового конвеєра, результати роботи якої наведені на рис. 3 і 4.

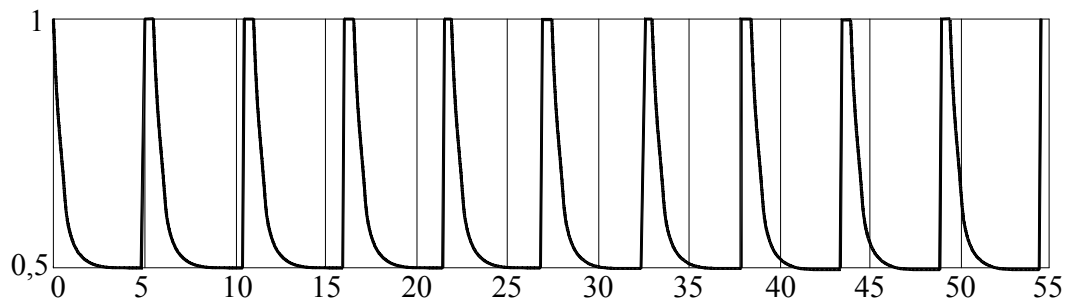


Рис. 3. Швидкість вантажу при недостатньому куті нахилу конвеєра
(привідні ролики розганяються вантажами)

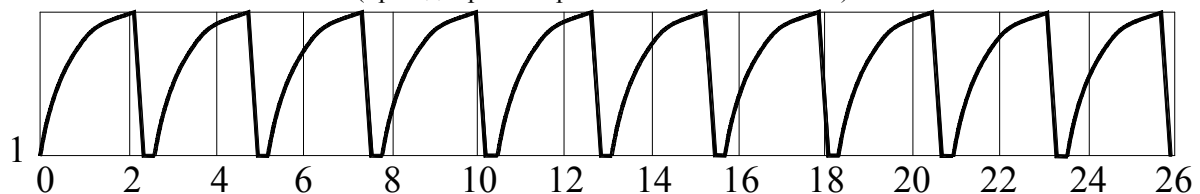


Рис. 4. Розрахункова схема переміщення вантажу в гвинтовому роликовому конвеєрі

Як показує аналіз рисунків 3 і 4, при різних кутах нахилу конвеєра наявність привідних роликів суттєво стабілізує швидкість вантажу. Занадто малий кут нахилу (рис. 3) призводить до гальмування вантажу, проте наступний привідний ролик розганяє вантаж до потрібної швидкості. При великому куті (рис. 4) процес зворотній – вантаж гальмується до необхідної швидкості. Кількість привідних роликів на один виток конвеєра вибирається мінімально можливою для забезпечення надійного процесу транспортування. Занадто мала їх кількість призводить до небажаного збільшення швидкості або повного гальмування. Відповідно, велика їх кількість недоцільна, конструктивно та економічно необґрунтована. Для вибору кількості привідних роликів необхідно розрахувати параметри руху при декількох значеннях кількості і обрати той варіант, коли коливання швидкості вантажу не перевищать допустимого значення.

При конструюванні конвеєра доцільно нахилити вісь роликів гвинтового конвеєра на певний кут β до середини, щоб компенсувати наявність відцентрової сили, яка може спричинити перекидання вантажу через зовнішній край конвеєра. Вказаний кут легко знаходиться за формулою

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_C}{Mg} = \frac{v_P^2}{R_K g}. \quad (14)$$

Згідно з літературними даними [1,2] як правило, кут нахилу роликового конвеєра знаходиться в межах $2^\circ < \gamma < 7^\circ$. Вказане значення не дозволяє робити конвеєр із великим кроком між сусідніми витками, що, в свою чергу, унеможливує транспортування великогабаритних вантажів при малому діаметрі конвеєра. Тому в результаті проведених досліджень встановлено, що застосування привідних роликів суттєво стабілізує швидкість транспортування, що дає можливість збільшити кут підйому гвинтової лінії конвеєра і відповідно відстань між сусідніми витками.

Внаслідок вказаного ефекту зменшуються довжина транспортування, необхідний діаметр конвеєра та кількість роликів, час транспортування вантажу. Всі ці фактори позитивно впливають на покращення технології виробництва та зменшення витрат на виготовлення продукції.

New design of vertical roller pipeline is brought with drive elements. Deduce analytical dependencies for determination of kinematics of moving the cargoes in different modes of usages.

Література

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Иванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. - К.: Вища школа, 1993. – 412 с.
3. Силин Р.И. Автоматизация загрузки оборудования в машиностроении.-Хмельницк, ТУП, 2003.- 225с.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971. - 576 с.
5. Деклараційний патент України №66163. Роликовий гвинтовий конвеєр. Гевко І.Б. Бюл. 4, 2004 р.

Одержано 11.01.2005 р.