

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ТА ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИПКОГО ВАНТАЖУ У КОНВЕЄРІ ІЗ ГОФРОВАНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

О. Ляшук, к. т. н., А. Дячун, к. т. н., Ю. Тарасюк

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя

Постановка проблеми. Для технологічних операцій переміщення і змішування сипких вантажів великого розповсюдження набули гвинтові конвеєри, які характеризуються простотою конструкції та користування і, відповідно, високою надійністю, простотою та легкістю адаптування за використання в автоматизованих системах, екологічністю використання [1; 4 – 6; 9]. Для зменшення енергетичних витрат і підвищення якості змішування сипких матеріалів розроблено низку оригінальних конструкцій гвинтових змішувачів із гофрованим робочим органом. Застосування таких шнеків потребує вирішення питань, пов'язаних з особливостями визначення навантажень на гофрований робочий орган та характеру руху вантажу, а також доцільності їх використання.

До переваг застосування таких шнеків можна віднести збільшення коефіцієнта завантаження у зоні переміщення вантажу з бункера у гофрований шнек, що приводить до зростання його продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням транспортування і змішування різних матеріалів присвячені праці А.М. Григор'єва [4], Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинського [2; 8], І.Б. Гевко [3; 7] та ін. Однак, враховуючи різноманітність технологічних процесів і конструктивного виконання гвинтових транспортно-технологічних механізмів (ГТТМ), необхідні подальші дослідження і уточнення різних параметрів, що мають теоретичне й практичне значення.

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення інженерної методики розрахунку швидкохідних гвинтових гофрованих конвеєрів з вибором кінематичних та динамічних параметрів, які мінімізують їх енергоємність.

Виклад основного матеріалу. Для встановлення характеру навантаження на складові частини конвеєра за всією його довжиною розглянемо рух частинки вантажу в координатах x, y, z (рис. 1). Після встановлення характеру цього руху і силових факторів визначимо характер навантажень на робочий орган та кожух конвеєра під час переміщення вантажу.

Розглянемо режим роботи конвеєра, до складу якого входить гофрований шнек з осьовим рухом. З умови контакту частинки вантажу А з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха її розміщення визначається радіальним R і кутовим θ параметрами [3].

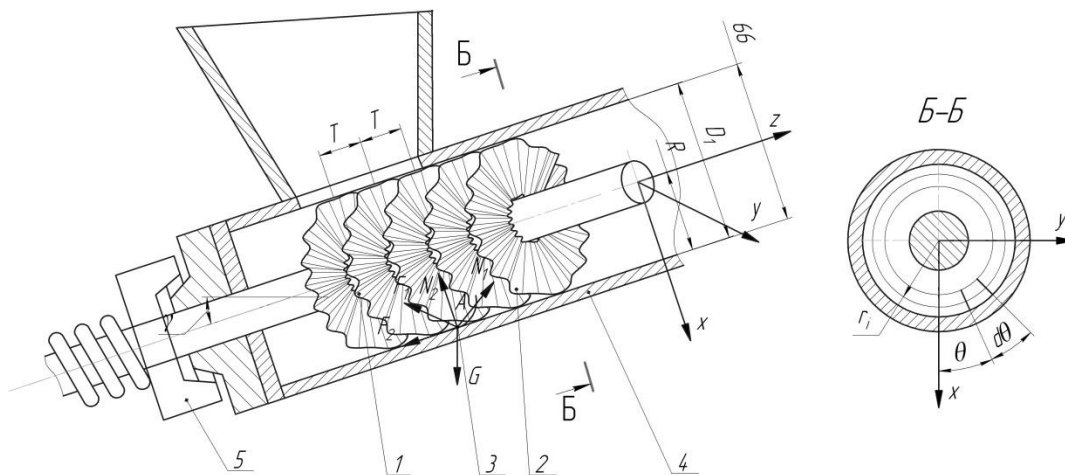


Рис. 1. Розрахункова схема переміщення частинки вантажу у нахиленому гвинтовому гофрованому конвеєрі: 1 – привідний вал; 2 – гофрований шнек; 3 – частинка вантажу; 4 – кожух; 5 – муфта.

У параметричному вигляді координати частинки А визначаються такими залежностями:

$$\begin{cases} x_A = R \cdot \cos \theta; \\ y_A = R \cdot \sin \theta; \\ z_A = \frac{T(\omega t - \theta)}{2\pi} + A \sin(k(\omega t - \theta)), \end{cases} \quad (1)$$

де x_A, y_A, z_A , – координати частинки, м;

R – радіальний параметр частинки, м;

θ – кутовий параметр частинки, рад;

ω – кутова швидкість робочого органа, рад/с;

t – час, с;

A – висота гофр, $A = tg\gamma(R - R_1) + A_1$, м;

k – кількість гофр на одному витку.

Швидкості руху частинки відносно шнека в напрямі осей x, y, z :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dot{x}_A - \dot{x}_{1u}; \\ \dot{y}_1 = \dot{y}_A - \dot{y}_{1u}; \\ \dot{z}_1 = \dot{z}_A - \dot{z}_{1u}, \end{cases} \quad (2)$$

де $\dot{x}_A, \dot{y}_A, \dot{z}_A$ – проекції швидкості руху частинки на осі координат x, y, z , м/с;

$\dot{x}_{1u}, \dot{y}_{1u}, \dot{z}_{1u}$ – проекції швидкості руху шнека на осі координат x, y, z , м/с.

Оскільки кожух нерухомий, то швидкості руху частинки відносно кожуха в напрямі осей x, y, z дорівнюють:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = \dot{x}_A; \\ \dot{y}_2 = \dot{y}_A; \\ \dot{z}_2 = \dot{z}_A. \end{cases} \quad (3)$$

Проекції швидкості руху частинки знаходимо, диференціюючи рівняння (1) для загального випадку, коли $R \neq \text{const}$:

$$\begin{cases} \dot{x}_A = \frac{dR}{dt} \cos \theta - R \cdot \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{y}_A = \frac{dR}{dt} \sin \theta + R \cdot \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{z}_A = \frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + A \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) \cdot k \cdot \omega \cdot \cos(k(\omega \cdot t - \theta)). \end{cases} \quad (4)$$

Згідно з (2), враховуючи залежність (4), а також те, що частота обертання частинки відрізняється від частоти обертання гофрованого шнека, знаходимо

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{dR}{dt} \cos \theta + R \cdot \sin \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{y}_1 = \frac{dR}{dt} \sin \theta - R \cdot \cos \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{z}_1 = \frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + A \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) \cdot k \cdot \omega \cdot \cos(k(\omega \cdot t - \theta)). \end{cases} \quad (5)$$

Модулі швидкості руху частинки відносно робочого органа і кожуха визначаємо за формулами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2}; \quad (6)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{\dot{x}_A^2 + \dot{y}_A^2 + \dot{z}_A^2}. \quad (7)$$

Підставляючи значення рівнянь (5) у (6) і (7), приймаючи допущення, що частинка перебуває у постійному контакті з жолобом і радіальний параметр частинки не змінюється в часі ($R=\text{const}$), після скорочень, отримаємо:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2}\right)\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 + 2Ak\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) \frac{T}{2\pi}\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)} \quad (8)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \frac{T^2}{4\pi^2}\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 + 2A \cdot k \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) \frac{T}{2\pi}\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) + A^2 k^2 \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 \cos^2(k \cdot \omega \cdot t)} \quad (9)$$

Прискорення частинки визначаємо, диференціюючи рівняння (5) при $R=\text{const}$:

$$\begin{cases} \ddot{x} = R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) - R \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{y} = R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) + R \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{z} = -\frac{T}{2\pi} \frac{d^2\theta_1}{dt^2} - A \cdot k^2 \frac{d^2\theta}{dt} \sin(k \cdot \omega \cdot t - \theta) - A \cdot k^2 \cos(k(\omega - \frac{d\theta}{dt}) \cdot t). \end{cases} \quad (10)$$

Результати числових та експериментальних досліджень, а також досліджень, поданих у роботах [7; 8], свідчать, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування. Враховуючи те, що період невстановленого руху частинки невеликий і не перевищує 0,6...0,8 с для швидкохідних конвеєрів і 1...1,5 с для тихохідних, визначальне значення для встановлення силових параметрів має аналіз часткових рішень.

Під час змішування сипких матеріалів використовуємо швидкохідні конвеєри. Розглянемо стабільний режим транспортування у швидкохідному конвеєрі, в якому вантаж рухається по гвинтовій траєкторії і для якого дійсні

умови: $\frac{d\theta}{dt} = \text{const} = \omega_e$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$. Тоді проєкції

швидкості руху частинки відносно шнека на осі системи координат x_1 становитимуть:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = R \cdot \sin \cdot \omega_B \cdot t \cdot (\omega - \omega_B); \\ \dot{y}_1 = -R \cdot \cos \cdot \omega_B \cdot t \cdot (\omega - \omega_B); \\ \dot{z}_1 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_B) + A \cdot (\omega - \omega_B) \cdot \cos(k \cdot t \cdot (\omega - \omega_B)). \end{cases} \quad (11)$$

де ω_6 – кутова швидкість частинки на робочому органі.

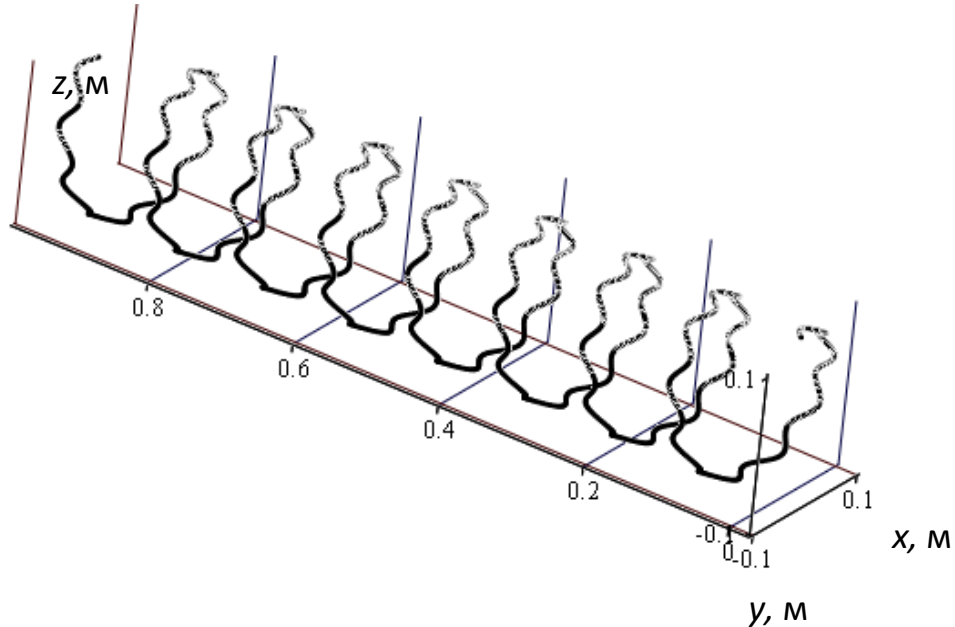


Рис. 2. Траєкторія руху частинки у швидкохідному конвеєрі з гофрованими поверхнями шнека: $R=0,1\text{м}$; $\omega=32\text{ рад/с}$; $T=0,2\text{м}$; $A=0,01\text{м}$; $k=15$.

Проекції швидкості руху частинки відносно кожуха на осі системи координат xuz :

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = R \cdot \sin(\omega_B t) \cdot \omega_6; \\ \dot{y}_2 = -R \cdot \cos(\omega_B t) \cdot \omega_B; \\ \dot{z}_2 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_B) + A \cdot (\omega - \omega_B) \cdot \cos(k \cdot t \cdot (\omega - \omega_B)). \end{cases} \quad (12)$$

Модулі швидкості руху частинки

$$|\dot{s}_1| = (\omega - \omega_B) \sqrt{R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2} + 2Ak \cos(k \cdot (\omega - \omega_B) \cdot t) \frac{T}{2\pi} + A^2 k^2 \cos^2(k \cdot (\omega - \omega_B) \cdot t)}; \quad (13)$$

$$|\dot{s}_2| = (\omega - \omega_B) \sqrt{\frac{T^2}{4\pi^2} + 2Ak \cos(k \cdot (\omega - \omega_B) \cdot t) \frac{T}{2\pi} + A^2 k^2 \cos^2(k \cdot (\omega - \omega_B) \cdot t)}. \quad (14)$$

На основі формули (14) побудовані графіки зміни швидкості руху частинки відносно кожуха у швидкохідному конвеєрі в часі (рис. 3).

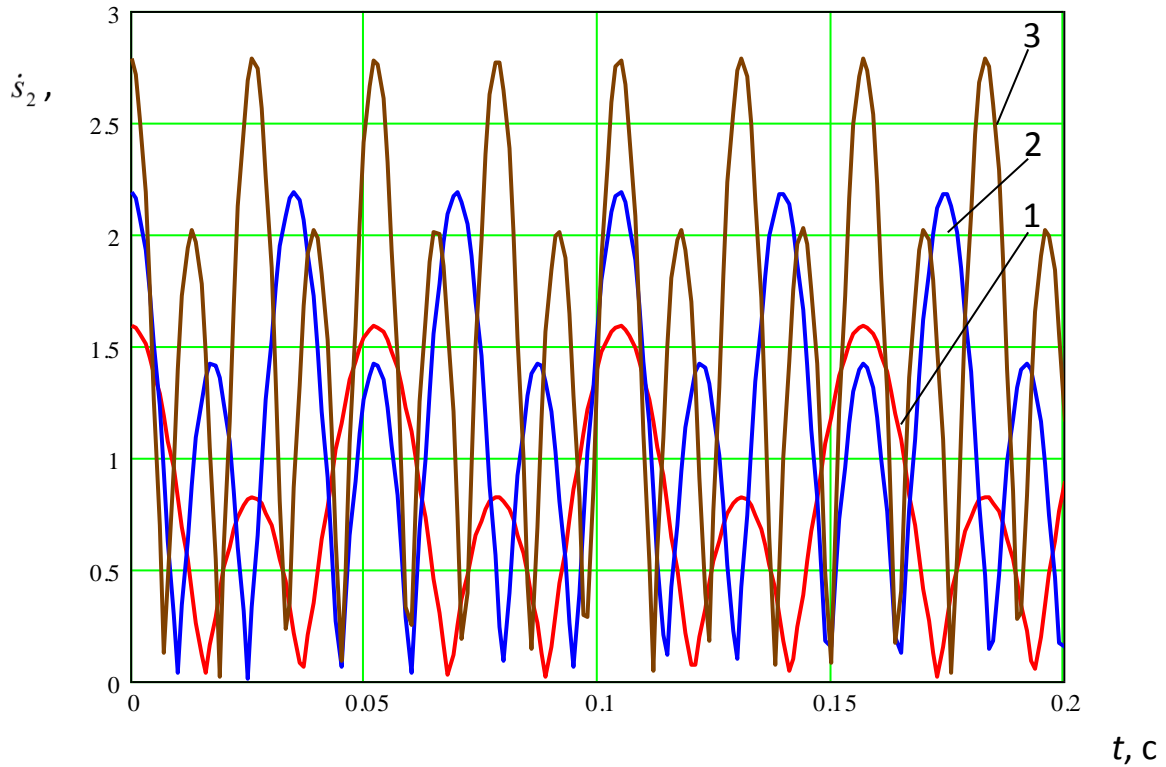


Рис. 3. Графіки зміни швидкості руху частинки відносно кожуха у швидкохідному конвеєрі в часі $\omega=32\text{рад/с}$, $R=0,1\text{м}$, $T=0,2\text{м}$, $A=0,01\text{м}$:
 1 – $k=10$; 2 – $k=15$; 3 – $k=20$.

Прискорення частинки визначали за рівняннями:

$$\begin{cases} \ddot{x} = R\omega_B \cos(\omega_B t)(\omega - \omega_B); \\ \ddot{y} = R\omega_B \sin(\omega_B t)(\omega - \omega_B); \\ \ddot{z} = -A \cdot k^2 \cdot \cos(k \cdot (\omega - \omega_B) \cdot t). \end{cases} \quad (15)$$

На основі графіків (рис. 3) можна зробити висновки, що в разі застосування гофрованих шнеків з коливним осьовим рухом відбувається коливання швидкості транспортування вантажу, що покращує умови змішування сипких вантажів.

Рівняння для визначення силових параметрів під час переміщення частинки згідно рис. 1 можна знайти на основі рівняння рівноваги всіх сил, що прикладені до неї [3]:

$$\begin{cases} \sum x = N_{1x} + N_{2x} + F_{1x} + F_{2x} - m\ddot{x} + G_x = 0; \\ \sum y = N_{1y} + N_{2y} + F_{1y} + F_{2y} - m\ddot{y} + G_y = 0; \\ \sum z = N_{1z} + N_{2z} + F_{1z} + F_{2z} - m\ddot{z} + G_z = 0, \end{cases} \quad (16)$$

де N_{1x}, N_{1y}, N_{1z} – проекції нормальної реакції від поверхні шнека відповідно на осі x, y, z, H ;

N_{2x}, N_{2y}, N_{2z} – проекції нормальної реакції від поверхні кожуха відповідно на осі x, y, z, H ;

F_{1x}, F_{1y}, F_{1z} – проекції сили тертя між частинкою та поверхнею шнека відповідно на осі x, y, z, H ;

F_{2x}, F_{2y}, F_{2z} – проекції сили тертя між частинкою та поверхнею кожуха відповідно на осі x, y, z, H ;

m – маса частинки, кг;

G_x, G_y, G_z – проекції сили ваги відповідно на осі x, y, z, H .

Нормальна реакція N_1 від поверхні шнека та поверхні кожуха N_2 напрямлена по вектору нормалі \vec{n} до цих поверхонь, тобто

$$\vec{N}_1 = N_1 \vec{n}; \quad \vec{N}_2 = N_2 \vec{n}, \quad (17)$$

де N_1, N_2 – нормальні реакції відповідно від поверхні шнека та поверхні кожуха, Н;

\vec{n} – вектор нормалі.

Сили тертя F_1 та F_2 від вказаних реакцій N_1 та N_2 напрямлені протилежно вектору відносної швидкості частинки, а їх проекції можна визначити за залежностями:

$$\begin{cases} F_{1x} = -f_1 N_1 \frac{\dot{x}_1}{|s_1|}; \\ F_{1y} = -f_1 N_1 \frac{\dot{y}_1}{|s_1|}; \\ F_{1z} = -f_1 N_1 \frac{\dot{z}_1}{|s_1|}; \end{cases} \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2x} = -f_2 N_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|}; \\ F_{2y} = -f_2 N_2 \frac{\dot{y}_2}{|\dot{s}_2|}; \\ F_{2z} = -f_2 N_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}, \end{array} \right. \quad (19)$$

де F_1, F_2 – сили тертя, що виникають між частинкою та відповідно з поверхнею шнека та поверхнею кожуха, Н;

f_1 – коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею шнека;

f_2 – коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею кожуха;

\dot{s}_1 – модуль абсолютної швидкості руху частинки по шнеку, м/с;

\dot{s}_2 – модуль абсолютної швидкості руху частинки по кожуху, м/с;

$\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ – швидкості руху частинки відносно шнека в напрямі осей x, y, z , м/с;

$\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ – швидкості руху частинки відносно кожуха в напрямі осей x, y, z , м/с.

У загальному вигляді коефіцієнти тертя залежать від швидкості руху частинки, і їх можна визначити за формулами:

$$f_1 = f_{01} + k |\dot{s}_1|; \quad f_2 = f_{02} + k |\dot{s}_2|, \quad (20)$$

де f_{01}, f_{02} – початкове значення коефіцієнтів тертя відповідно між вантажем і шнеком та між вантажем і кожухом;

k – коефіцієнт, що враховує значення зміни коефіцієнта тертя залежно від швидкості руху частинки.

Оскільки швидкість обертання шнека змінюється не в значних інтервалах, коефіцієнт тертя приймемо постійною величиною.

Проекції нормальних реакцій від поверхні шнека та поверхні кожуха на осі координат x, y, z :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{1x} = -N_1 \cdot \sin \alpha \sin \theta \sin \beta; \\ N_{1y} = N_1 \cdot \cos \alpha \cos \theta \cos \beta; \\ N_{1z} = N_1 \cdot \cos \alpha; \end{array} \right. \quad (21)$$

$$\begin{cases} N_{2x} = -N_2 \cdot \cos \theta; \\ N_{2y} = -N_2 \cdot \sin \theta; \\ N_{2z} = 0, \end{cases} \quad (22)$$

де α – кут нахилу витків робочого органа, рад;

β – кут при основі гофри, рад.

Проекції сили ваги частинки на осі координат хуз:

$$\begin{cases} G_x = mg \cdot \cos \gamma; \\ G_y = 0; \\ G_z = -mg \cdot \sin \gamma, \end{cases} \quad (23)$$

де γ – кут нахилу осі шнека, рад;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Враховуючи значення (18), (19), (21-23), рівняння (16) набудуть вигляду:

$$\begin{cases} \sum x = N_1 \left(-\sin \alpha \sin \theta \sin \beta - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{x} + G_x = 0; \\ \sum y = N_1 \left(\cos \alpha \cos \theta \cos \beta - f_1 \frac{\dot{y}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(\sin \theta - f_2 \frac{\dot{y}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{y} + G_y = 0; \\ \sum z = N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{z} + G_z = 0. \end{cases} \quad (24)$$

У розширеному вигляді систему рівнянь (24) можна записати таким чином:

$$\left\{ \begin{aligned} & N_1 \left(-\sin \alpha \sin \theta \sin \beta - f_1 \frac{R \cdot \sin \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-\cos \theta - f_2 \frac{-R \cdot \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}}{|\dot{s}_2|} \right) - \\ & - m \left(R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) - R \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) + mg \cdot \cos \gamma = 0; \\ & N_1 \left(\cos \alpha \cos \theta \cos \beta - f_1 \frac{-R \cdot \cos \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(\sin \theta - f_2 \frac{R \cdot \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}}{|\dot{s}_2|} \right) - \\ & - m \left(R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + R \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = 0; \\ & N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-f_2 \frac{\frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_a) + A \cdot k \cdot (\omega - \omega_a) \cdot \cos(k \cdot (\omega - \omega_a) \cdot t)}{|\dot{s}_2|} \right) - \\ & - m \cdot \left(-\frac{T}{2\pi} \frac{d^2\theta_1}{dt^2} - A \cdot k^2 \frac{d^2\theta}{dt^2} \sin(k \cdot \omega \cdot t - \theta) - A \cdot k^2 \cos(k(\omega - \frac{d\theta}{dt}) \cdot t) \right) - mg \cdot \sin \gamma = 0. \end{aligned} \right. \quad (25)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (24), знаходимо нормальні реакції від поверхонь шнека і кожуха.

Вказана система рівнянь відносно параметра θ в загальному випадку не має розв'язку, і її аналіз проводиться на ЕОМ, застосовуючи чисельний метод Рунге-Кутта. Оскільки коефіцієнт внутрішнього тертя вантажу, що піддається транспортуванню, в основному значно перевищує коефіцієнт тертя між вантажем та кожухом і шнеком, то рух потоку вантажу в першому наближенні можна розглядати як рух частинок з незмінними характеристиками зовнішніх зв'язків, що не залежать від внутрішніх взаємодій частинок [5].

Із третього рівняння системи (24) отримали:

$$N_2 = \frac{-N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + m\ddot{z} - G_z}{-f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}. \quad (26)$$

Із першого і третього рівнянь системи (24) отримали:

$$N_1 = \frac{\frac{m\ddot{z} - G_z}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}} \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) + m\ddot{x} - G_x}{-\sin \alpha \sin \theta \sin \beta - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} + \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}}. \quad (27)$$

Розглянемо також стабільний режим транспортування у швидкохідному конвеєрі, в якому вантаж рухається по криволінійній траєкторії і для якого дійсні умови: $\theta = \text{const}$, $\frac{d\theta}{dt} = 0$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$. Нормальна реакція від поверхні шнека на основі (27) із врахуванням (15):

$$N_1 = \frac{m \left(\frac{-A \cdot k^2 \omega^2 \sin(k \cdot \omega \cdot t) - g \cdot \sin \gamma \cos \theta - g \cdot \cos \gamma}{-f_2} \right)}{-\sin \alpha \sin \theta \sin \beta - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} - \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right)}{f_2} \cos \theta}. \quad (28)$$

Нормальна реакція від поверхні кожуха на основі формули (26):

$$N_2 = \frac{-N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + m \left(-A \cdot k^2 \omega^2 \sin(k \cdot \omega \cdot t) + g \cdot \sin \gamma \right)}{-f_2} \quad (29)$$

Важливою складовою для визначення енергосилових параметрів гвинтових конвеєрів є маса вантажу m_b , яка піддається одночасному транспортуванню, і якщо рух потоку вантажу в першому наближенні можна розглядати як рух частинок, то у вищенаведених формулах можна замість маси частинки m використовувати масу вантажу m_b , яку можна визначати за формулою [2]:

$$m_b = \frac{\pi \cdot i \left(D^2 - d^2 \right)}{4} \varphi_0 T_0 \rho, \quad (30)$$

де d – діаметр вала шнека, м;

φ_0 – коефіцієнт завантаження, що формується у завантажувальному отворі;

ρ – густина вантажу, кг/м³.

Крутний момент на шнекові визначаємо за виразом:

$$M = N_1 \cdot R \left(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha \right) + N_2 R f_2. \quad (31)$$

Потужність на приводі шнека

$$N = \frac{Mn}{9750}. \quad (32)$$

Реальне значення величини крутного моменту є більшим унаслідок особливостей вантажу, що переміщується, неточності виготовлення гвинтової транспортної системи, тертя в опорах і визначається за формулою

$$M_p = k_n k_n k_T k_b M, \quad (35)$$

де k_n – коефіцієнт, що враховує витрати на перемішування, дроблення, защемлення й залипання вантажу;

k_n – коефіцієнт, що враховує неточність виготовлення шнека;

k_T – коефіцієнт, що враховує тертя в опорах;

k_b – коефіцієнт, що враховує зміну міжвиткового об'єму.

Продуктивність конвеєра

$$Q = \psi \cdot k_\gamma \cdot \varphi_0 \cdot \dot{z}_2 \frac{(4R^2 - d^2)}{4}, \quad (33)$$

де Ψ – коефіцієнт, що враховує пересипання вантажу у зворотному напрямі під час транспортування, $\Psi = f(k_T, \gamma, \omega)$, k_γ – коефіцієнт, що враховує кут нахилу конвеєра.

Питомі енерговитрати на переміщення вантажу

$$w = \frac{N}{Q \cdot L}. \quad (34)$$

Висновки. 1. Розроблено інженерну методику встановлення характеру навантаження на елементи швидкохідного гвинтового конвеєра: на кожух та на гофрований робочий орган. Встановлено, що в разі застосування гофрованих шнеків з осьовим рухом відбувається коливання швидкості транспортування вантажу, що покращує умови змішування сипких вантажів. 2. Виведено аналітичні залежності для визначення енергосилових параметрів під час переміщення вантажу, що можна широко використовувати під час проектування гвинтових транспортно-технологічних систем.

Бібліографічний список

1. Александров М. П. Подъемно-транспортные машины / Александров М. П. – М. : Машиностроение, 1974. – 503 с.
2. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов : Вища шк., 1989. – 176 с.
3. Гевко І. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи / І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 69-77.
4. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / Григорьев А. М. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
5. Конвейеры винтовые для кормов. Основные параметры : ГОСТ 23976 - 80. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 19 с. – (Національні стандарти України).
6. Конвейеры : справочник / [Волков Р. А., Гнутов А. Н., Дьячков В. К. и др.] ; под общ. ред. Ю. А. Пертена. – Л. : Машиностроение, 1984. – 367 с.
7. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. – 278 с.
8. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К., 1997. – 502 с.
9. Шнеки для сельскохозяйственных машин : ГОСТ 2705 - 73. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 16 с. – (Національні стандарти України).

Ляшук О., Дячун А., Тарасюк Ю. Дослідження кінематики та енергосилових параметрів сипкого вантажу у конвеєрі із гофрованим робочим органом

Наведено дослідження кінематики сипкого вантажу на основі рівнянь руху матеріальних частинок у гвинтовому гофрованому конвеєрі. Проведено детальний аналіз руху вантажу у швидкохідному гвинтовому гофрованому конвеєрі і розроблено методику встановлення характеру навантаження на елементи гвинтового гофрованого конвеєра, виведено аналітичні залежності для визначення

енергосилових параметрів під час переміщення вантажу, що можна широко використовувати в проектуванні гвинтових транспортно-технологічних систем.

Ключові слова: гвинтовий робочий орган, гвинтовий гофрований конвеєр, шнек.

Lyashuk O., Dyachun A., Tarasyuk Y. The research of kinematics and power parameters bulk materials in conveyor with corrugated operative member

The investigation of bulk load kinematics basis on the equations of motion of material particles in a screw corrugated conveyor was presented. A detailed analysis of the movement of load in the high-speed screw corrugated conveyor carried out and a technique that establish the nature of loads on the screw corrugated conveyor elements developed, analytical dependencies for determining the power parameters of load while moving that loads that can be widely used during screw a transport technology systems designing were selected.

Key words: screw operating member, screw corrugated conveyer, screw.

Ляшук О., Дячун А., Тарасюк Ю. Исследования кинематики и энергосиловых параметров сыпучих грузов в конвейере с гофрированным рабочим органом

Приведено исследование кинематики сыпучего груза на основе уравнений движения материальных частиц в винтовом гофрированном конвейере. Проведен детальный анализ движения груза в быстроходном винтовом гофрированном конвейере и разработана методика установления характера нагрузки на элементы винтового гофрированного конвейера, выведены аналитические зависимости для определения энергосиловых параметров во время перемещения груза, что можно широко использовать при проектировании винтовых транспортно-технологических систем.

Ключевые слова: винтовой рабочий орган, винтовой гофрированный конвейер, шнек.