

УДК 621.867.42

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ГВИНТОВОМУ КОНВЕЄРІ ІЗ ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ

Рогатинський Р.М. д.т.н; Дячун А.Є. к.т.н; Вар'ян А.Р.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

У статті представлено нову конструкцію гвинтового конвеєра із обертовим кожухом для транспортування сипких матеріалів у тваринництві. Досліджено кінематику зернового вантажу на основі рівнянь руху у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом. Проведено аналіз руху вантажу при усталеному швидкохідному режимі.

Постановка проблеми. Гвинтові конвеєри широко використовуються в народному господарстві, зокрема у тваринництві для переміщення сипучих, шматкових, в'язко-пластичних та інших матеріалів і сумішей. Вони характеризуються простотою конструкції, зручністю в користуванні, високою надійністю. Важливим є можливість поєднання функції транспортування із рядом технологічних процесів у відповідних транспортно-технологічних системах. Проте гвинтові конвеєри, порівняно із іншими, мають підвищену енергоємність і її зниження є важливою науково-технічною проблемою.

Для запуску шнека після вимушеної зупинки гвинтового конвеєра, в якому знаходиться сипкий матеріал, необхідно прикласти пусковий момент, який перевищує момент за нормальних умов роботи, що призводить до необхідності використання потужнішого двигуна і підсиленого гвинтового робочого органу, що не завжди економічно виправдано. Тому пошук нових конструктивних рішень за рахунок модернізації кожуха конвеєра, надання йому обертового руху для зниження пускового моменту двигуна та зменшення енергоємності процесу транспортування, а також надання гвинтовим конвеєрам додаткових технологічних можливостей є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження кінематики зернового вантажу у гвинтових транспортно-технологічних механізмах присвячені наукові праці Василенка П.М. [1], Григор'єва А.В. [2], Гевка Б.М. [3], Гевка Р.Б. [4], Owen P.J. [5], Shimizu Y. [6], Roberts A.W. [7] та багатьох інших. У вказаних працях досліджено кінематику вантажу у швидкохідних та тихохідних гвинтових конвеєрах із шнеками, що мають постійний крок витків. Застосування конвеєрів із обертовим кожухом вносить свої корективи у кінематику вантажу, оскільки обертання кожуха призводить до зміни величини кроку руху вантажу при швидкісному режимі.

Постановка завдання. Мета досліджень – дослідити кінематику зернового матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом.

Виклад основного матеріалу. Гвинтовий конвеєр із обертовим кожухом (рис. 1) виконано у вигляді вала 1, до якого жорстко закріплено шнек 2, що знаходиться в циліндричному кожусі 3 з можливістю кругового провертання. У верхній нерухомій частині 4 циліндричного кожуха 3 закріплено двигун 5, який жорстко з'єднано з валом 1, та розташовується вивантажувальний патрубок 6. Нерухома частина 4 циліндричного кожуха 3 з'єднана з його рухомою частиною 7 через підшипниковий вузол 8 відомим способом. На нерухомій частині кожуха 4 також розташовано додатковий двигун 9, який служить приводом для нижньої рухомої частини кожуха 7. На нижній частині шнека 2, що не знаходиться в циліндричному кожусі 3, закріплено лопатки 10. Нижній кінець вала 1 встановлено в підшипниковій опорі 11 в наконечнику 12, який за допомогою кронштейнів 13 з'єднано через підшипниковий вузол 14 з нижньою рухомою частиною кожуха 7 відомим способом. У верхній нерухомій частині кожуха 4 закріплено регулювальні опори 15.

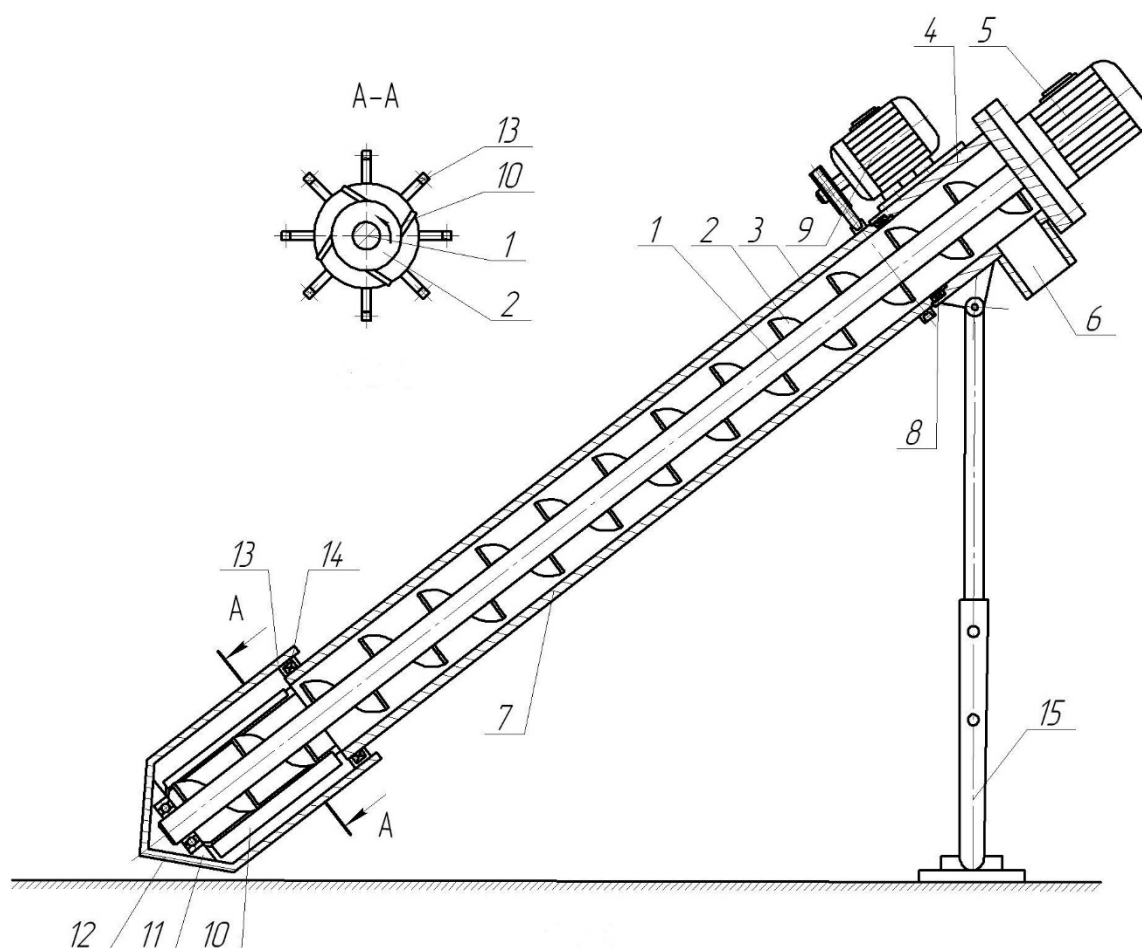


Рисунок 1 – Конструкційна схема гвинтового конвеєра із обертовим кожухом

Під час роботи гвинтового конвеєра кутовий параметр матеріалу θ визначається особливостями руху матеріалу. Для встановлення характеру

переміщення вантажу розглянемо рух виділеного об'єму матеріалу в координатах xuz (рис. 2). Прийемо до уваги швидкісний режим роботи конвеєра, при якому відбувається одночасне змішування та транспортування вантажу. Із умови контакту виділеного об'єму матеріалу А з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха, його розміщення визначається радіальним параметром R і кутовим параметром θ .

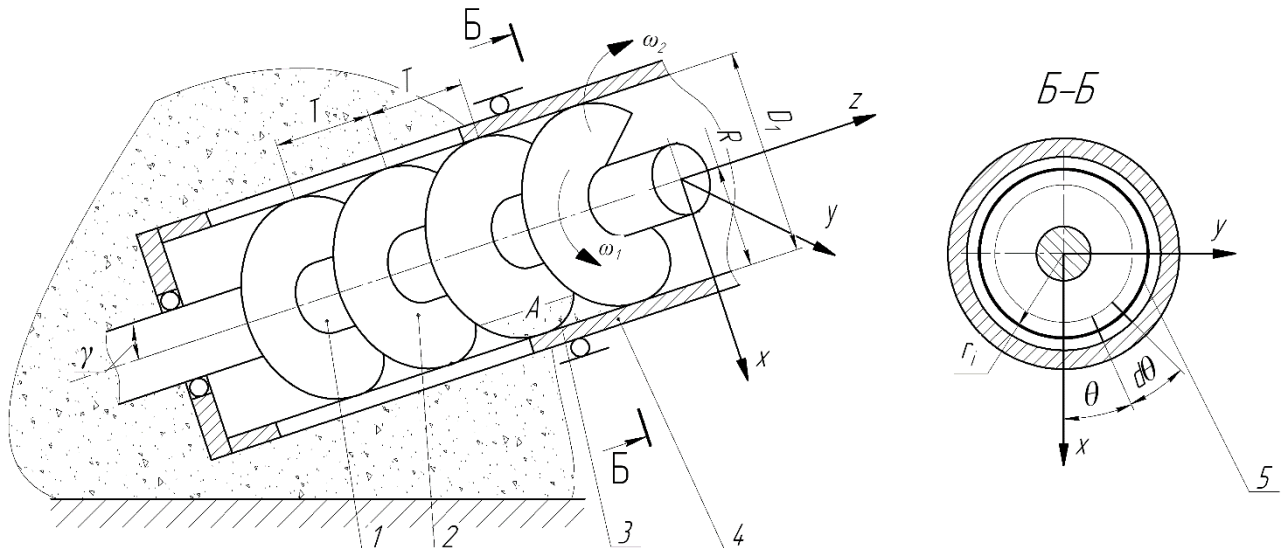


Рисунок 2 - Розрахункова схема переміщення виділеного об'єму матеріалу у нахиленому гвинтовому конвеєрі: 1 – привідний вал; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – виділений об'єм матеріалу; 4 – обертовий кожух; 5 – траєкторія руху матеріалу при швидкісному режимі

В параметричному вигляді, з достатньою апроксимацією, координати виділеного об'єму матеріалу А визначаються такими залежностями:

$$\begin{cases} x_A = R \cos \theta; \\ y_A = R \sin \theta; \\ z_A = \frac{T(\omega_1 t \pm \omega_2 t - \theta)}{2\pi}, \end{cases} \quad (1)$$

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

R – радіальний параметр матеріалу, м;

θ – кутовий параметр матеріалу, рад;

ω_1 – кутова швидкість обертання шнека, рад/с;

ω_2 – кутова швидкість обертання кожуха, рад/с;

t – час, с.

Знак “-” у системі рівнянь (1) перед кутовою швидкістю обертання кожуха відноситься до випадку, коли кожух обертається у протилежному напрямку

обертання шнека, а знак “+” – для випадку, коли кожух обертається в напрямку обертання шнека.

Швидкості руху матеріалу відносно шнека в напрямку 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 матеріалу 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.

Швидкості руху матеріалу відносно кожуха в напрямку осей x, y, z , дорівнюють:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = \dot{x}_A - \dot{x}_{2u}; \\ \dot{y}_2 = \dot{y}_A - \dot{y}_{2u}; \\ \dot{z}_2 = \dot{z}_A - \dot{z}_{2u}, \end{cases} \quad (3)$$

де $\dot{x}_{2u}, \dot{y}_{2u}, \dot{z}_{2u}$ – проекції швидкості руху кожуха на осі координат x, y, z , м/с.

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

$$\begin{cases} \dot{x}_A = \frac{dR}{dt} \cos \theta - R \sin \theta \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{y}_A = \frac{dR}{dt} \sin \theta + R \cos \theta \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{z}_A = \frac{T}{2\pi} \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right). \end{cases} \quad (4)$$

Швидкість руху шнека визначаємо за залежностями:

$$\begin{cases} \dot{x}_{1u} = R\omega_1 \sin \theta; \\ \dot{y}_{1u} = R\omega_1 \cos \theta; \\ \dot{z}_{1u} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Швидкість руху кожуха визначаємо за залежностями:

$$\begin{cases} \dot{x}_{2u} = \pm R\omega_2 \sin \theta; \\ \dot{y}_{2u} = \pm R\omega_2 \cos \theta; \\ \dot{z}_{2u} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Швидкість руху матеріалу доцільно розглядати відносно взаємного руху шнека і кожуха:

$$\begin{cases} \dot{x}_3 = \dot{x}_A - (\dot{x}_{1u} - \dot{x}_{2u}); \\ \dot{y}_3 = \dot{y}_A - (\dot{y}_{1u} - \dot{y}_{2u}); \\ \dot{z}_3 = \dot{z}_A - (\dot{z}_{1u} - \dot{z}_{2u}); \end{cases} \quad (7)$$

Згідно з формулою (7), враховуючи залежності (4), (5) і (6), знаходимо

$$\begin{cases} \dot{x}_3 = \frac{dR}{dt} \cos \theta + R \sin \theta \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{y}_3 = \frac{dR}{dt} \sin \theta - R \cos \theta \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{z}_3 = \frac{T}{2\pi} \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right). \end{cases} \quad (8)$$

Модуль швидкості руху матеріалу відносно шнека і кожуха визначаємо за формулою:

$$|\dot{s}_3| = \sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2 + \dot{z}_3^2}. \quad (9)$$

Підставляючи рівняння (8) у (9), приймаючи допущення, що матеріал перебуває у постійному контакті із жолобом і радіальний параметр матеріалу не змінюється в часі ($R=\text{const}$), після скорочень, отримаємо:

$$|\dot{s}_3| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2} \right) \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right)^2}. \quad (10)$$

Прискорення матеріалу визначаємо, диференціюючи рівняння (8) при $R=\text{const}$:

$$\begin{cases} \ddot{x}_3 = R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right) - R \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{y}_3 = R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega_1 \pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right) + R \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{z}_3 = -\frac{T}{2\pi} \frac{d^2\theta}{dt^2}. \end{cases} \quad (11)$$

Результати числових та експериментальних досліджень, а також досліджень, представлених в роботі [3] свідчать, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування. Враховуючи те, що період невстановленого руху матеріалу 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.

Розглянемо стабільний режим транспортування у швидкохідному конвеєрі (рис. 3), в якому матеріал рухається по гвинтовій траєкторії і для якого дійсні умови: $\frac{d\theta}{dt} = \text{const} = \omega_e$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$, де ω_b - кутова швидкість обертання матеріалу, рад/с.

При прийнятих умовах з (8) знайдемо проєкції швидкості руху матеріалу відносно взаємного руху шнека і кожуха на осі системи координат хуз:

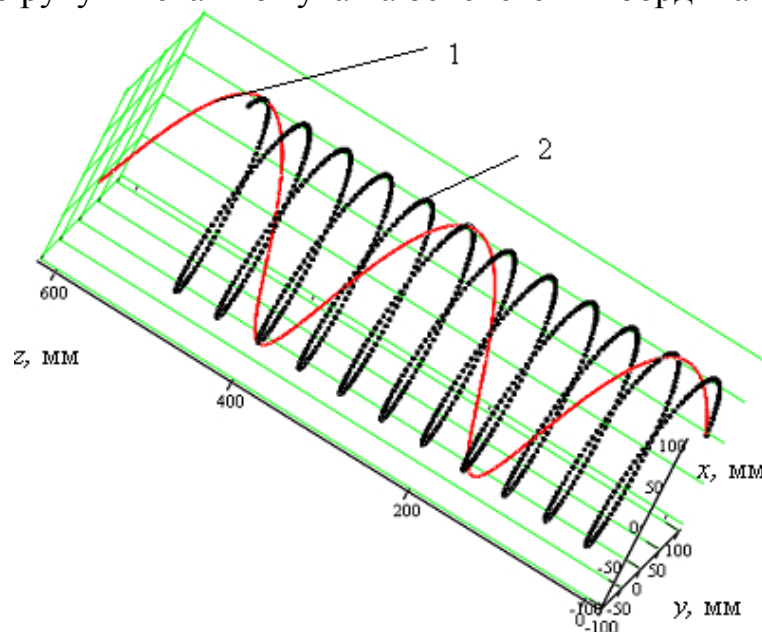


Рисунок 3 - Траєкторія руху матеріалу у швидкохідному конвеєрі: 1) кожух обертається у протилежному напрямку обертання шнека 2) кожух обертається в напрямку обертання шнека $R=100$ мм; $\omega=32$ рад/с

$$\begin{cases} \dot{x}_3 = R \sin(\omega_\epsilon t)(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon); \\ \dot{y}_3 = -R \cos(\omega_\epsilon t)(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon); \\ \dot{z}_3 = \frac{T}{2\pi}(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon). \end{cases} \quad (12)$$

Модуль швидкості руху матеріалу із рівняння (10) визначаємо за виразом:

$$|\dot{s}_3| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2}\right)(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon)^2}. \quad (13)$$

Прискорення матеріалу визначаємо за рівняннями (11):

$$\begin{cases} \ddot{x}_3 = R\omega_\epsilon \cos(\omega_\epsilon t)(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon); \\ \ddot{y}_3 = -R\omega_\epsilon \sin(\omega_\epsilon t)(\omega_1 \pm \omega_2 - \omega_\epsilon); \\ \ddot{z}_3 = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Висновки. Представлено нову конструкцію гвинтового конвеєра із обертовим кожухом, що дозволяє знизити пусковий момент головного двигуна, зменшити енергоємність процесу транспортування зернового матеріалу а також керувати режимами транспортування. Досліджено кінематику сипкого матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом. Встановлено, що для режиму швидкохідного транспортування доцільно надавати обертовий рух кожуху в напрямку протилежному обертанню шнека, а для процесу змішування транспортованого матеріалу доцільним є обертання кожуха в напрямку обертання шнека.

Список літератури:

1. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К. : Издательство УАСХН, 1960. – 284 с.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский. – Львів : Вища школа, 1989. – 176 с.
4. Гевко Р.Б. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія / Р.Б. Гевко, А.О. Вітровий. – Тернопіль: Астон, 2012. – 204 с.

5. Owen P.J. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM) / P.J. Owen, P.W. Cleary // Powder Technology. – 2009. - Vol. 193. - P. 274–288.

6. Shimizu Y. Threedimensional DEM simulation of bulk handling screw conveyors / Y. Shimizu, P.A. Cundall // J. Engineering Mechanics. - 2001, P. 864–872.

7. Roberts A.W. The influence of granular vortex motion on the volumetric performance of enclosed screw conveyors / A.W. Roberts // Powder Technology. - 1999. - № 104, P. 56–67.

Аннотация

Исследование кинематики зернового материала в винтовом конвейере с обратным кожухом

Рогатынский Р.М., Дячун А.Є., Варьян А.Р.

В статье представлена новая конструкция винтового конвейера с обратным кожухом для транспортировки сыпучих материалов в животноводстве. Исследована кинематика зернового материала на основе уравнений движения материальных частиц в винтовом конвейере с обратным кожухом. Проведен анализ движения материала при установившемся быстроходном режиме.

Abstract

The study of grain material kinematics in a screw conveyor with rotating casing

Rogatynsky R.M., Diachun A.Y., Varian A.R.

The new construction of screw conveyor with rotating casing for transporting of bulk materials in livestock sector is represented. Based on the equation of motion in a screw conveyor with rotating casing, the kinematics of bulk material is researched. The motion of bulk material in high-speed operation mode of screw conveyor is analyzed.