

УДК 621.867.42

© Р.М.Рогатинський, д.т.н., А.Є.Дячун, к.т.н., А.Л.Мельничук  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана  
Пулюя

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ГВИНТОВОМУ КОНВЕЄРІ ІЗ ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ ГРАФОАНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

*У статті представлено нову конструкцію гвинтового конвеєра із обертовим кожухом для транспортування сипких матеріалів у тваринництві. Досліджено швидкісні параметри зернового вантажу на основі графоаналітичного методу 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.

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 І.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.

**Мета дослідження** – дослідити кінематику зернового матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом, застосовуючи графоаналітичний метод.

**Результати дослідження.** 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 повертання. Подача матеріалу 6 здійснюється через бункер 4, що встановлений на рамі 5.

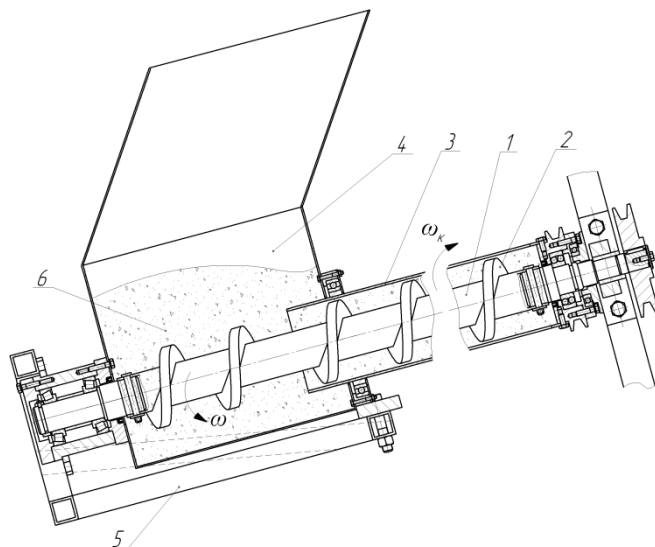


Рис. 1 – Конструкційна схема гвинтового конвеєра з обертовим кожухом: 1 – привідний вал; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – обертовий кожух; 4 – бункер; 5 – рама; 6 – матеріал, що переміщується

З метою спрощення розрахунку гвинтових конвеєрів і надання йому наочності, розроблена і широко використовується в роботі модель графічного розрахунку на основі плану швидкостей і, відповідно, плану прискорень. Особливість їх побудови полягає в наступному. При повному захопленні частини матеріалу гвинтовим робочим органом конвеєра його колова швидкість дорівнює  $v_t = \omega D / 2$ , де  $\omega$  – частота обертання гвинтового робочого органу,  $D$  – зовнішній діаметр гвинтового робочого органу, а при чистому осьовому транспортуванні, його осьова швидкість дорівнює  $v_z = \omega T / 2\pi$ , де  $T$  – крок витків гвинтового робочого органу. Якщо взяти розгортку витка по діаметру  $D$ , і відповідно на осях  $O\phi$  і  $Oz$  відкласти вектори цих швидкостей, то із залежності  $v_z = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_g)$  [3], де  $\omega_g$  – частота обертання вантажу, впливає, що кінці векторів швидкостей частини матеріалу при будь-якому режимі транспортування лежать на прямій  $MN$ , що з'єднує кінці векторів  $\vec{v}_z$  і  $\vec{v}_t$  (рис. 2.a). Нахил цієї прямої до осі  $O\phi$  рівний куту підйому витка  $\alpha$ .

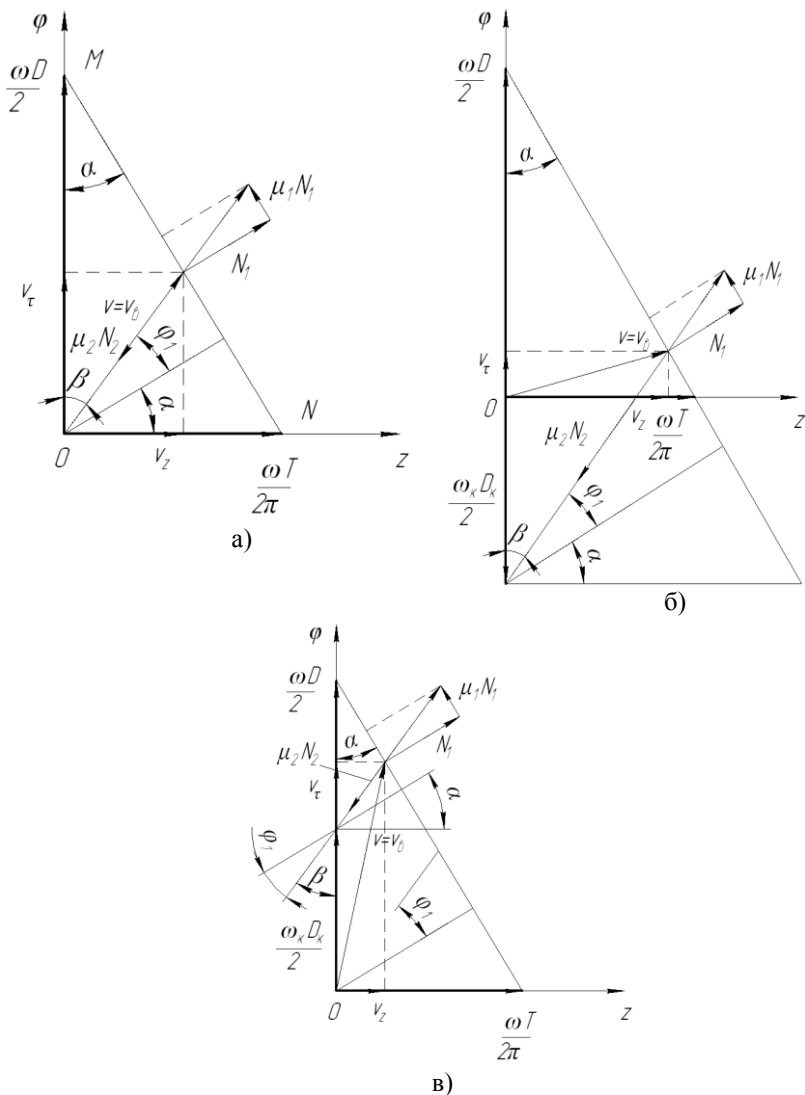


Рис. 2 – Схеми до графоаналітичного розрахунку гвинтового конвеєра:  
 а) без обертання кожуха; б) з обертанням кожуха проти напрямку обертання гвинтового робочого органу;  
 в) з обертанням кожуха в тому ж напрямку, що і обертання гвинтового робочого органу

Особливості руху частини матеріалу досить наглядно пояснюються за допомогою розробленої кінематичної моделі. Так, при нехтуванні силами земного тяжіння (ідеальний режим транспортування) і при коефіцієнті тертя вантажу до спіралі  $\mu_1 = 0$ , кут підйому транспортування  $\beta = 90 - \alpha$  і вектор швидкості направлений перпендикулярно лінії підйому витка розгортки.

При  $\mu_1 \neq 0$  відповідно  $\beta = 90 - \alpha - \varphi_1$ , де  $\varphi_1 = \arctg \mu_1$  - кут тертя. Оскільки сила опору переміщення частини вантажу зі сторони кожуха направлена протилежно вектору її швидкості, то коефіцієнт тертя частини матеріалу до кожуха не впливає на зміну напрямку сил.

При сталій проектній частоті обертання і при постійних геометричних параметрах спіралі кінці векторів швидкостей лежать тільки на лінії швидкостей, а тому вектор прискорення  $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$

направлений виключно до лінії витка з кутом нахилу рівним куту підйому витка  $\alpha$ . Із врахуванням того, що напрямки сил безпосередньо пов'язані із напрямком нормалей поверхонь та напрямком відносних переміщень і прискорень вантажу, то розроблена графічна модель може бути використана для силового розрахунку процесу транспортування. Розроблена графічна модель дозволяє провести відповідний векторний аналіз при транспортуванні частин вантажу у гвинтових конвеєрах, служать наглядною ілюстрацією взаємодії частинки із поверхнями конвеєра при складанні рівняння сил рівноваги і розв'язку рівняння руху частини матеріалу. Крім цього, розроблена модель використовується в графоаналітичному методі розрахунку гвинтових конвеєрів.

Для випадку транспортування вантажу в горизонтальному (низько нахиленому) конвеєрі згідно [3] усереднене значення швидкості переміщення вантажу у конвеєрі незначно відхиляється від розрахункового значення швидкості, отриманого без врахування сил тяжіння.

Згідно розрахункової схеми на рис. 2а при нерухомому кожусі осьова швидкість дорівнює

$$v_z = \omega_e \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta, \quad (1)$$

$$v_z = \omega - \omega_e \operatorname{tg} \alpha \frac{D}{2}. \quad (2)$$

Прирівнюючи рівняння (1) та (2), одержуємо:

$$\omega_e = \omega \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

Після перетворень рівняння (4) отримали:

$$\omega_e = \frac{\omega \sin \alpha \cos \beta}{\sin \beta \cos \alpha + \sin \alpha \cos \beta}. \quad (5)$$

Для випадку ідеального транспортування із врахуванням тертя матеріалу по робочому органу  $\beta = 90 - \alpha - \varphi_1$  рівняння (5) після перетворень набуває вигляду:

$$\omega_e = \omega \frac{\sin \alpha \sin \alpha + \varphi_1}{\cos \varphi_1}. \quad (6)$$

Тоді із рівняння (1) осьова швидкість дорівнює:

$$v_z = \omega \frac{D \sin \alpha \cos \alpha + \varphi_1}{2 \cos \varphi_1}. \quad (7)$$

Колова швидкість дорівнює:

$$v_\tau = \omega \frac{D \sin \alpha \sin \alpha + \varphi_1}{2 \cos \varphi_1}. \quad (8)$$

Керовані гвинтові конвеєри - конвеєри, у яких появляється можливість керувати процесом транспортування вантажу шляхом надання кожуху додаткового руху. При наданні кожуху обертання з кутовою швидкістю протилежною швидкості гвинтового робочого органу  $\omega$  транспортування проводиться на граничних умовах. При цьому вектор швидкості  $v$  наближається до базового вектора  $v_\tau$ . Осьова швидкість і продуктивність зростають скачкоподібно без значних енергетичних затрат. У вантажі виникають значні зсувні напруження, які можна використовувати для певного функціонального призначення.

Згідно розрахункової схеми на рис. 2б, коли кожух обертається проти напрямку обертання гвинтового робочого органу

$$v_z = \omega_e + \omega_k \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta; \quad (9)$$

Прирівнюючи рівняння (9) та (2), одержуємо:

$$\omega_e = \frac{\omega \operatorname{tg} \alpha - \omega_k \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha}. \quad (10)$$

Тоді із рівняння (9) осьова швидкість дорівнює:

$$v_z = \left( \frac{\omega \operatorname{tg} \alpha - \omega_k \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} + \omega_k \right) \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta. \quad (11)$$

Колова швидкість дорівнює:

$$v_\tau = \frac{D \omega \operatorname{tg} \alpha - \omega_k \operatorname{tg} \beta}{2(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (12)$$

Умова швидкісного осьового переміщення вантажу  $v_\tau = 0$  забезпечується підбором величини кутової швидкості обертання кожуха, що обертається в протилежну сторону обертання гвинтового робочого органу, тому приймаємо

$$\frac{D \omega \operatorname{tg} \alpha - \omega_k \operatorname{tg} \beta}{2(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha)} = 0. \quad (13)$$

Із умови (13) знаходимо

$$\omega_k = \frac{\omega \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (14)$$

Для випадку ідеального транспортування із врахуванням тертя матеріалу по робочому органу величина кутової швидкості обертання кожуха для осьового переміщення в горизонтальному конвеєрі

$$\omega_k = \omega \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \alpha + \varphi_1, \quad (15)$$

або

$$\omega_k = \frac{\omega \sin \alpha \sin \alpha + \varphi_1}{\cos \varphi_1 - \sin \alpha \sin \alpha + \varphi_1}. \quad (16)$$

Регульовані гвинтові конвеєри можна використовувати тоді, коли потрібна зміна продуктивності в часі, точне дозування, змішування і т.д. досягається наданням кожуху регульованого обертового руху того ж напрямку, що і у гвинтового робочого органу конвеєра, що забезпечує стабільне утримання потоку в різних режимах, особливо на вертикальних трасах, а також реверс вантажу ( $\omega_k < \omega$  – транспортування,  $\omega_k > \omega$  – реверс). Обмежується параметр  $\omega_k > \omega_{\min}$ .

Згідно розрахункової схеми на рис. 2в, коли кожух обертається в тому ж напрямку, що і обертається гвинтовий робочий орган

$$v_z = \omega_e - \omega_k \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta. \quad (17)$$

Прирівнюючи рівняння (17) та (2), одержуємо:

$$\omega_e = \frac{\omega \operatorname{tg} \alpha + \omega_k \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha}. \quad (18)$$

Тоді із рівняння (17) осьова швидкість дорівнює:

$$v_z = \left( \frac{\omega \operatorname{tg} \alpha + \omega_k \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} - \omega_k \right) \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta. \quad (19)$$

Колова швидкість дорівнює:

$$v_\tau = \frac{D \omega \operatorname{tg} \alpha + \omega_k \operatorname{tg} \beta}{2(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (20)$$

Для цього виду конвеєра, змінюючи частоту обертання кожуха, можна регулювати швидкість подачі матеріалу до повного його зупинення при обертанні гвинтового робочого органу.

**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 гвинтового робочого органу, а для процесу змішування транспортованого матеріалу доцільним є обертання кожуха в напрямку обертання шнека.



### Література

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. Рогатынский Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р. М. Рогатынский, І.Б. Гевко, А.С. Дячун. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 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.