

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ РУХУ СИПКОГО ВАНТАЖУ У ГВИНТОВОМУ ЕЛІПТИЧНОМУ ЗМІШУВАЧІ

*Р. Грудовий*

*Житомирський національний агроекологічний університет*

*А. Дячун, к.т.н., І Гевко к.т.н.*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

**Ключові слова:** еліптичний змішувач, кінематика, сипкий вантаж еліптичний змішувач.

Запропоновано нову конструкцію змішувача сипких матеріалів із еліптичною передачею приводу. Наведено теоретичні дослідження кінематику руху вантажу. Отримано параметричні рівняння траєкторії руху вантажу. Представлено графіки траєкторії руху вантажу.

**Постановка проблеми.** Змішування компонентів порошкових матеріалів є одним із основних технологічних процесів виготовлення сумішей різного функціонального призначення у різних галузях народного господарства. Наприклад, процеси змішування сипких матеріалів у сільськогосподарському виробництві, харчовій і переробній промисловості, порошковій металургії, у машинобудуванні тощо.

Технологічні процеси змішування є складними, механізм дії їх переважно залежить від конструкції робочих органів, реологічних властивостей компонентів змішування і може бути достовірно описаний лише за законами теорії ймовірності. Вирішення цієї проблеми вимагає: створення високоефективних методів і технологічних схем змішування у процесі транспортування, засобів механізації й автоматизації, розробки нових робочих органів і конструкцій змішувального обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологічним процесом змішування сипких матеріалів присвячені роботи Ю.І. Макарова [1], Б.М. Гевка [2], Р.М. Рогатинського [3], І.Б. Гевка, [4], Р.О. Любачівського [5] та багатьох інших. Однак особливості нових конструкцій змішувачів висувають низку питань, що потребують свого вирішення у плані теорії та практики конструювання змішувачів сипких матеріалів з урахуванням їх конструктивних відмінностей.

**Постановка завдання.** Завдання дослідження представлення нової конструкції еліптичного змішувача сипких матеріалів із дослідженням кінематики руху вантажу.

**Виклад основного матеріалу.** Для підвищення якості змішування сипких матеріалів і зменшення габаритів змішувачів досить часто використовують конструкції, які забезпечують складний рух матеріалів, що змішуються. Для здійснення цього процесу розроблено гвинтовий еліптичний змішувач (рис. 1), який виконано у вигляді рами 1, на якій жорстко закріплена циліндрична труба 2 під кутом до горизонту, в середині якої встановлено гвинтовий робочий орган у вигляді конічного вала 3, до якого жорстко приведена гвинтова спіраль 4 конічної форми зі збільшеним зовнішнім діаметром і кроком до кінця виходу матеріалу. Конічний вал 3 збільшеного діаметра у напрямі виходу матеріалу, з правого кінця якого виконано у вигляді сферичного шарніра 5, який є у взаємодії з підвісною опорою 6, жорстко закріпленою до внутрішньої поверхні транспортної циліндричної труби 2 з правого кінця. Збільшення міжвиткового простору по довжині виходу матеріалу сприяє зменшенню зусилля їх транспортування змішаних сипких матеріалів.

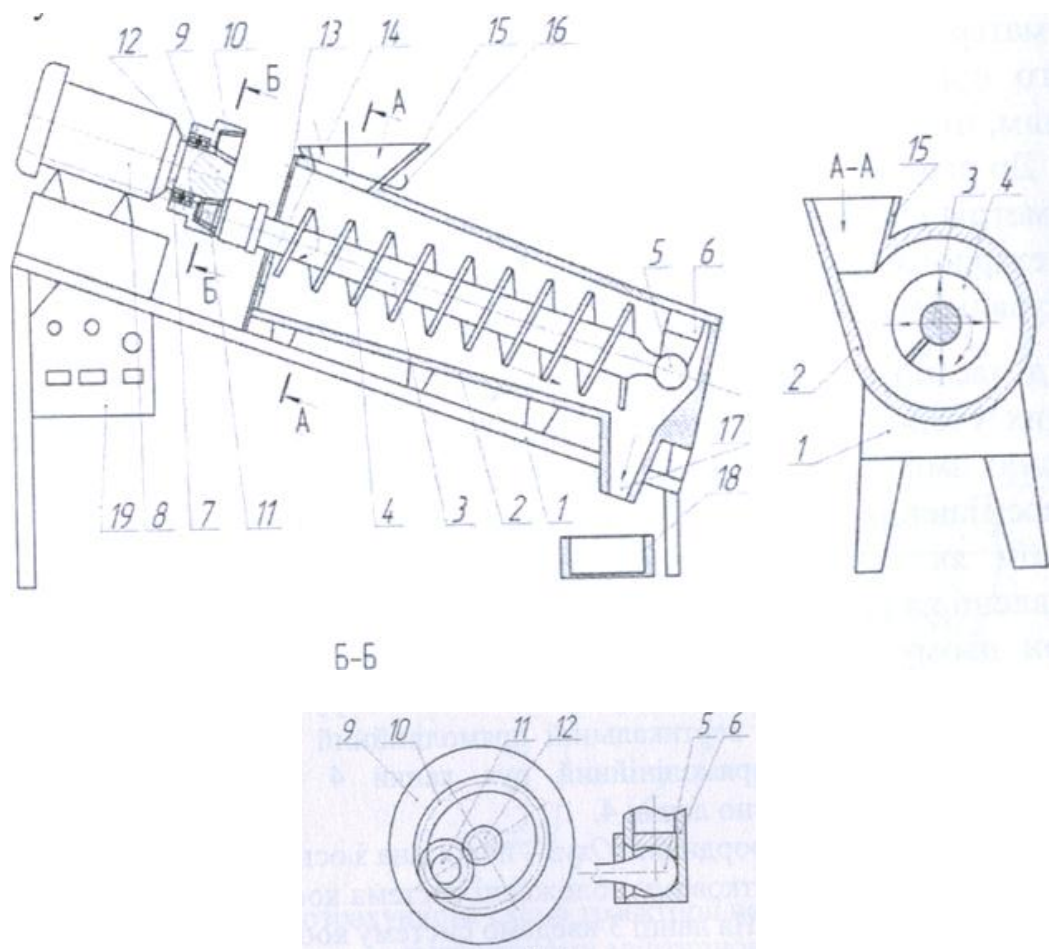


Рис.1 Конструкція гвинтового еліптичного змішувача

До вала 7 електродвигуна 8 закріплено сателітне зубчате колесо 9 з можливістю кругового повертання із внутрішнім зубчатим зчепленням 10, яке взаємодіє з конічною шестернею 11, жорстко закріпленою на лівому кінці конічного вала 3, а з другого боку конічна шестерня 11 взаємодіє зі зубами співвісної шестерні 12, яка жорстко закріплена до вала електродвигуна.

Із лівого торця циліндричної труби 2 знизу жорстко встановлено підпружинений обмежувач 13 обсіпання сипкого матеріалу в лівий бік з транспортної труби, причому верхній радіус 14 обмежувача 13 знаходиться нижче від нижньої мертвої точки вала 3.

Для забезпечення надійної роботи без поломок змішувач оснащений запобіжною муфтою (на кресленні не показано).

Із лівого кінця труби 2 зверху встановлено бункер 15 із шибером 16 для подачі сипких змішувальних матеріалів, а під вихідним патрубком 17 встановлено ємність 18 для збору змішувального матеріалу.

Робота гвинтового еліптичного змішувача відбувається так. Два змішувальні матеріали засипають у бункер 15 за закритого шибера 16, з пульта керування 19 вмикають змішувач. Відкривають шибер 16 і подають сипкі матеріали у необхідних пропорціях, за допомогою гвинтового робочого органу здійснюється процес планетарного змішування, який є якіснішим, ніж звичайний.

До переваг змішувача належить розширення технологічних параметрів і поліпшення якості змішування сипких матеріалів за рахунок планетарного просторового переміщення гвинтового робочого органу і змішувального матеріалу.

Під час практичних досліджень і за результатами розглянутих робіт провідних учених у цій галузі встановлено, що траєкторія руху вантажу у швидкісних змішувачах відповідає складній гвинтовій лінії.

Переміщення вантажу в запропонованому пристрої (рис. 1) можна розглядати як сукупність чотирьох рухів чотирьох ланок системи, що представлено на рис. 2.

При цьому ця система характеризується такими рухами: обертання ланки 2 відносно основи 1, вертикальний прямолінійний рух ланки 3 по ланці 2, горизонтальний прямолінійний рух ланки 4 через ланку 3, обертовий рух ланки 5 відносно ланки 4.

Введемо такі системи координат:  $O_{xyz}$  — пов'язана з основою,  $O_{1x_1y_1z_1}$  — пов'язана з ланкою 2. У початковому положенні система координат  $O_{1x_1y_1z_1}$  збігається з  $O_{xyz}$  ( $O_{x_1}^0 y_1^0 z_1^0$ ). На ланці 3 введемо систему координат  $O_{2x_2y_2z_2}$ ,

на ланці 4 - систему координат  $O_{3x_3y_3z_3}$ , а на ланці 5 - систему координат  $O_{4x_4y_4z_4}$ . Введемо такі змінні координати:  $\varphi_1$  - кут повороту ланки 2,

$S_1 = O_1O_2$  - переміщення ланки 3,  $S_2 = O_2O_3$  - переміщення ланки 4,  $\varphi_2$  - кут повороту ланки 5. Координати точки  $B$  у системі координат  $O_{4x_4y_4z_4}$  описується чотирикоординатним вектором:

$$\vec{r}_{B4} = (x_{B4}; y_{B4}; z_{B4}; 1)^T \quad (1)$$

Для визначення координати точки  $B$  в системі координат  $Oxyz$  скористаємось залежністю:

$$\vec{r}_B = \vec{C} \cdot \vec{r}_{B4}, \quad (2)$$

де  $\vec{C}$  - результуюча матриця переходу  $4 \times 4$ .

$$\vec{C} = \vec{D}_1 \cdot \vec{D}_2 \cdot \vec{D}_3 \cdot \vec{D}_4, \quad (3)$$

де  $\vec{D}_1, \vec{D}_2, \vec{D}_3, \vec{D}_4$  - матриці переходу між сусідніми координатами.

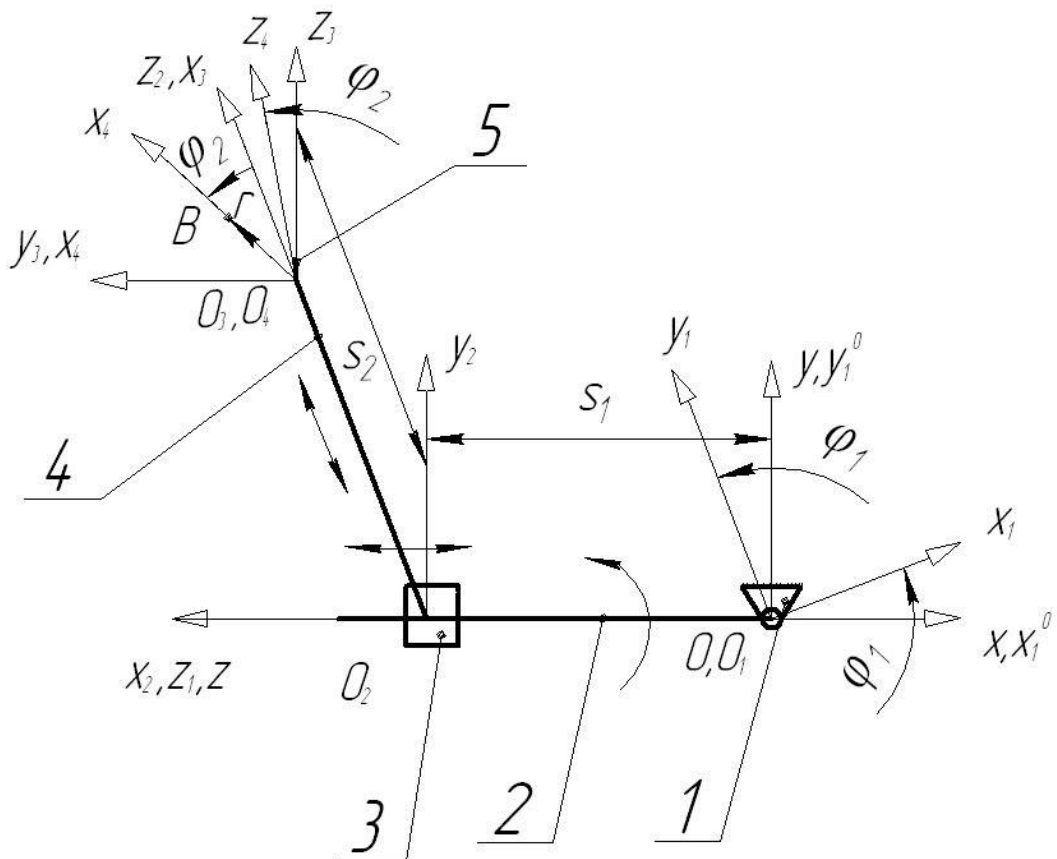


Рис. 2. Розрахункова схема траєкторії переміщення сипкого вантажу у гвинтовому еліптичному змішувачі

Матриці переходу між сусідніми координатами представляємо згідно рис. 2 так:

$$\vec{D}_1 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \vec{D}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$$\vec{D}_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \vec{D}_4 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & 0 & \sin \varphi_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & 0 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Тоді, підставляючи вирази (1), (4), (5) у рівняння (2), враховуючи (3), знаходимо:

$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} (-\sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2) r - \sin \varphi_1 \cdot S_2 \\ (-\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2) r + \cos \varphi_1 \cdot S_2 \\ S_1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

У нашому випадку:

$$\varphi_1 = \omega_1 \cdot t; \quad (7)$$

$$\varphi_2 = \omega_2 \cdot t,$$

де  $\omega_1$  - частота обертання ланки 2 ;

$\omega_2$  - частота обертання ланки 5;

$t$  - час.

Переміщення ланок 3 і 4 визначаємо наступним чином:

$$S_1 = V_1 \cdot t; \quad (8)$$

$$S_2 = V_2 \cdot t, \quad (9)$$

де  $V_1$  - швидкість переміщення ланки 3;

$V_2$  - швидкість переміщення ланки 4.

Швидкість переміщення ланки 3

$$V_1 = \frac{\omega_2 T}{2\pi}, \quad (10)$$

де  $T$  – крок розміщення витків шнека.

$$V_2 = V_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (11)$$

де  $\alpha_1$  – найбільший кут ексцентриситету гвинтового робочого органа:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\varepsilon_{\max}}{L}, \quad (12)$$

де  $\varepsilon_{\max}$  - найбільший ексцентриситет приводу;

$L$  – довжина робочого органа змішувача.

У разі застосування у приводі конвеєра зачеплення зубчаста конічна шестерня еліпсне конічне колесо рівняння траєкторії руху вантажу запишемо у параметричній формі, враховуючи рівняння (7) –(11):

$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} a \left[ (-\sin(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) - \cos(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t)) r - \sin(\omega_1 t) \cdot \frac{\omega_2 T \operatorname{tg} \alpha_1 t}{2\pi} \right] \\ b \left[ (-\sin(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t) + \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t)) r + \cos(\omega_1 t) \cdot \frac{\omega_2 T \operatorname{tg} \alpha_1 t}{2\pi} \right] \\ \frac{\omega_2 T t}{2\pi} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

де  $a, b$  - параметри, що визначають співвідношення осей еліпсного колеса.

На основі одержаного рівняння (13) побудовано траєкторію переміщення вантажу, що зображено на рис. 3. Параметр  $t$  визначено на

проміжку  $0 \leq t \leq \frac{2\pi L}{\omega_2 T}$ . Провівши диференціювання рівнянь (13) можна

визначити швидкість і прискорення вантажу.

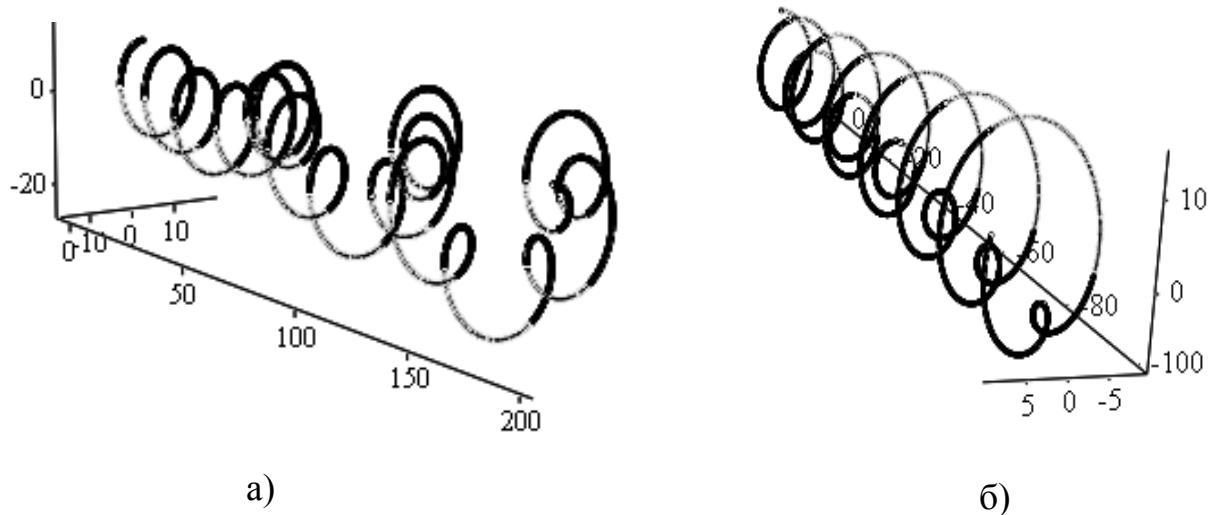


Рис. 5.4. Траекторія руху вантажу у швидкісному гвинтовому еліптичному змішувачі: а)  $\omega_1 < \omega_2$ ; б)  $\omega_1 = \omega_2$ .

**Висновки.** Представлено оригінальну конструкцію еліптичного змішувача сипких матеріалів, що підвищує якість змішування сипких матеріалів за рахунок планетарного просторового переміщення гвинтового робочого органа і змішувального матеріалу. Отримано параметричні рівняння та графіки траекторії руху вантажу, які дають змогу визначати інтенсивність переміщення матеріалів на стадії проектування змішувача.

#### Бібліографічний список

1. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Макаров Ю. И. - М. : Машиностроение, 1993. -216 с.
2. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. - Львов : Вища шк., 1989. - 176 с.
3. Рогатинський Р. М. Змішувач комбікормів [Текст] / Р. М. Рогатинський, Ю. Б. Капаціла, Д. В. Дмитрів // Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук, праць НАУ. - К. : НАУ, 2000.-Т. 7. - С. 156-159.
4. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання [Текст] / Гевко І. Б. - Тернопіль : ТДТУ, 2008. - 307 с.
5. Пат. 63760 Україна, МПК В 01 F 7/24. Змішувач відцентровий / Любачівський Р. О.; заявники і патентовласники Любачівський Р. О. - № u201101238 ; заявл. 04.02.11 ; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20.

**Grudovyy R., Dyachun A., Gevko I. Research of kinematics of motion of bulk cargo in screw elliptic mixer**

The new construction of mixer of bulk materials with the elliptic transmission of drive is offered. Theoretical researches of kinematics of motion of cargo are resulted. The parametric equations of trajectory of motion of cargo are received. The graphics of trajectory of motion of cargo are presented.

**Key words:** elliptic mixer, kinematics, bulk cargo.

**Грудовой Р., Дячун А., Гевко И. Исследование кинематики движения сыпучего груза в винтовом эллиптическом смешивателе**

Предложена новая конструкция смешивателя сыпучих материалов с эллиптической передачей привод. Приведено теоретические исследования кинематику движения груза. Получены параметрические уравнения траектории движения груза. Представлены графики траектории движения груза.

**Ключевые слова:** эллиптический смешиватель, кинематика, сыпучий материал.