

УДК 621.356.2

**Любачівський Р.О.<sup>1</sup>**

аспірант

**Email:** oleglashuk@ukr.net**Маруніч О.П.<sup>1</sup>**

аспірант

**Email:** oleglashuk@ukr.net<sup>1</sup>кафедра автомобілівТернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Тернопіль, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКОГО ВАНТАЖУ ПОХИЛИМ ГВИНТОВИМ КОНВЕЄРОМ

### *Анотація*

Для зменшення енергетичних витрат і підвищення якості змішування сипких матеріалів розроблено ряд оригінальних конструкцій гвинтових змішувачів із гвинтовим робочим органом. Гвинтові механізми отримали широке застосування у всіх галузях народного господарства завдяки концентрації різних операцій в поєднанні з транспортуванням і по похилих поверхнях машин і механізмів. Однак, їхнє застосування потребує вирішення питань, пов'язаних з особливостями визначення навантажень на гвинтовий робочий орган та характеру руху вантажу, а також доцільності їх використання.

Дослідження присвячене розрахунку параметрів руху виділеного об'єму похилим швидкохідним гвинтовим конвеєром. Авторами розглянуто режим роботи похилого гвинтового конвеєра, в склад якого входить гвинтовий робочий орган із постійними параметрами. Із умови контакту виділеного об'єму вантажу з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха, її розміщення визначається радіальним параметром  $R$  і кутовим параметром  $\theta$ . Використовуючи метод графічного аналізу запропоновано метод визначення середньої кулової швидкості виділеного об'єму по крайніх значеннях, що відзначається математичною строгістю і простотою реалізації.

Встановлено граничні відхилення швидкостей частинок в процесі транспортування і виведені аналітичні залежності. Окрім того, встановлено, що в граничних режимах призводить до інтенсивного перемішування вантажу і ефективного змішування. Виведено аналітичні залежності для визначення кутової і осьової швидкості руху частинок по нахилених поверхнях. Досліджено процес транспортування-змішування сипкого вантажу та встановлено, що при застосуванні шнеків з осьовим рухом відбувається коливання швидкості транспортування вантажу, що покращує умови змішування сипких вантажів.

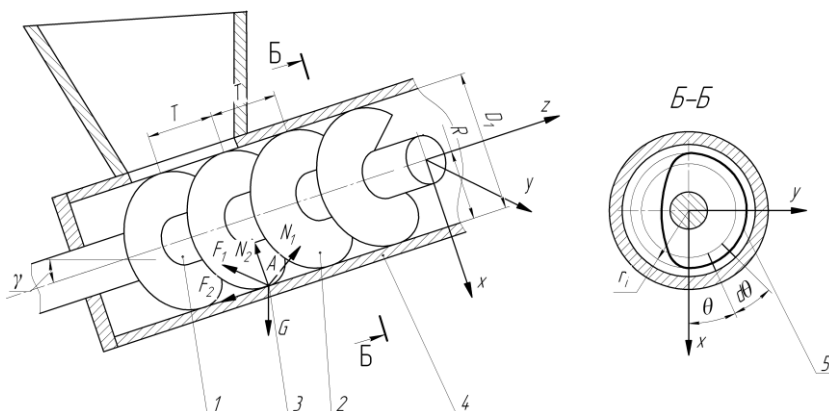
**Ключові слова:** гвинтовий робочий орган, гвинтовий конвеєр, шнек.

**Вступ.** Для технологічних операцій переміщення і змішування сипких вантажів велике розповсюдження набули гвинтові конвеєри, які характеризуються простотою конструкції та, відповідно, високою надійністю, прості в користуванні та легкістю адаптування при використанні в автоматизованих системах, екологічністю використання [1-3, 7-8]. Для зменшення енергетичних витрат і підвищення якості змішування сипких матеріалів розроблено ряд оригінальних конструкцій гвинтових змішувачів із гвинтовим робочим органом. Застосування таких шнеків потребує вирішення питань, пов'язаних з особливостями визначення навантажень на гвинтовий робочий орган та характеру руху вантажу, а також доцільності їх використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням транспортування і змішування різних матеріалів присвячені праці Григор'єва А.М. [1], Барішева А.І. [4], Гевко Б.М., Рогатинського Р.М. [5-6], Гевко І.Б. [8] та інших. Однак, враховуючи різноманітність технологічних процесів і конструктивного виконання гвинтових транспортно-технологічних механізмів (ГТТМ), потребує подальших досліджень і уточнень різних параметрів теоретичного й практичного значення.

**Мета** досліджень полягала у розрахунку параметрів руху виділеного об'єму похилим швидкохідним гвинтовим конвеєром.

**Результати.** Під час досліджень гвинтового конвеєра кутовий параметр  $\theta_1$  визначається особливостями руху вантажу. Для встановлення характеру навантаження на складові частини конвеєра по всій його довжині розглянемо рух виділеного об'єму вантажу в координатах  $xuz$  (рис. 1). Після встановлення характеру цього руху і силових факторів визначимо характер навантажень на шнек та кожух під час переміщення вантажу.



**Рис. 1.** Розрахункова схема переміщення виділеного об'єму вантажу у похилому гвинтовому конвеєрі:

1 – привідний вал; 2 – шнек із поступово зростаючим кроком витків; 3 – частинка вантажу; 4 – кожух 5 – траєкторія руху вантажу при середньошвидкісному режимі (режимі змішування і транспортування)

Розглянемо швидкохідний похилий гвинтовий конвеєр, з гвинтовим робочим органом із постійними параметрами – зовнішнім діаметром шнека  $D$  і кроком  $T$ . Із умови контакту виділеного об'єму вантажу  $A$  з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха, його розміщення визначається радіальним параметром  $R=D/2$  і кутовим параметром  $\theta$ . У відповідності рис. 1 на виділений об'єм  $A$  масою  $m$  будуть діяти такі сили: нормальні від поверхонь  $N_1$  і  $N_2$ , сили тертя  $F_1$  і  $F_2$  ( $\mu_1 N$  і  $\mu_2 N$ ), сили тяжіння  $G = mg$ , відцентрова від обертання виділеного об'єму вантажу.

Розглянемо усталений режим транспортування у похилому швидкохідному конвеєрі. В загальному випадку рівняння руху виділеного об'єму вантажу  $A$  в гвинтовому конвеєрі, що нахилений під кутом  $\gamma$  до горизонту відносно змінного параметру  $\theta$  описується диференціальним рівнянням [6]:

$$\begin{aligned} & (T^2 + \pi^2 D^2) \left( \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right) + \mu_2 \left[ \pi D \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 - 2\pi g \sin \theta \cos \gamma \right] \left\{ \pi D [\pi D - \mu_1 T \sin(d\theta/dt - \omega)] + \right. \\ & + T [T + \mu_1 D \sin(d\theta/dt - \omega)] (d\theta/dt - \omega) \left. \right\} / \sqrt{\pi^2 D^2 \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 + T^2 (d\theta/dt - \omega)^2} + \\ & + 2\pi g \left\{ \sin \gamma [T + \mu_1 D \sin(d\theta/dt - \omega)] + \cos \theta + \cos \gamma [\pi D - \mu_1 T \sin(d\theta/dt - \omega)] \right\} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\mu_1$  та  $\mu_2$  – коефіцієнти тертя вантажу до поверхні спіралі та кожуха;

$\omega$  - кутова швидкість шнека.

Для швидкохідних конвеєрів вантаж переміщається гвинтовою траєкторією, кут підйому  $\beta$  якої визначається за залежністю [6]:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha (\omega - d\theta/dt), \quad (2)$$

Для випадку  $\gamma \neq 0$   $\frac{d\theta}{dt} \neq \text{const}$ ;  $\frac{d^2\theta}{dt^2} \neq \text{const}$ ;  $\beta \neq \text{const}$  і диференціальне рівняння руху виділеного об'єму масою  $dm$  у явному вигляді не розв'язується. Умова  $d^2\theta/dt^2 = \text{const}$ , яка приймається в [1] суттєво впливає на характер зміни параметрів і для детального аналізу руху виділеного об'єму не може бути прийнятою. Детальні дослідження рівняння [5] на ЕОМ Рунге-Кутта показали, що після  $t=0,5 \dots 0,6$  настає усталений процес руху в якому колова та кутова  $\omega_A$  швидкості виділеного об'єму змінюється в часі по гармонічному закону для зони транспортування рис.2. В першому наближенні цю залежність можна представити у вигляді:

$$\omega_A = \omega_c \left[ 1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_c} \cos \omega_c t + \frac{\Delta\omega^2}{2\omega^2 - \Delta\omega^2} \cos(2\omega_c t) \right]. \quad (3)$$

$d\theta/dt = \omega_A$  - кутова швидкість колового руху виділеного елемента;

$\omega_c$  – середня кутова швидкість виділеного об'єму по періоду;

$\Delta\omega$  – амплітуда коливання значення  $d\theta/dt$  в часі;

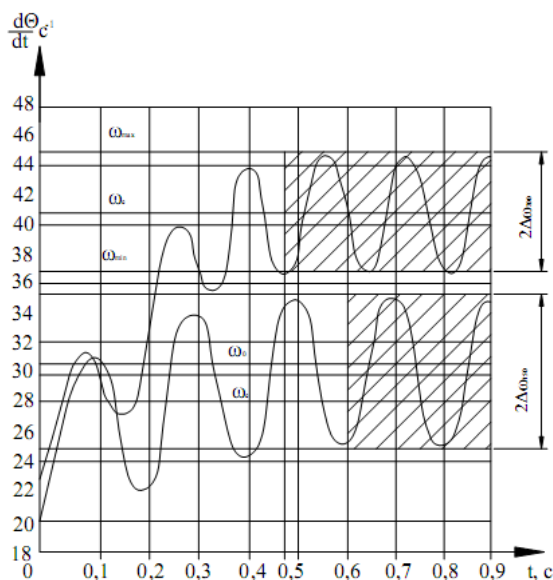


Рис. 2. Зміна кутової швидкості виділеного об'єму у швидкохідному горизонтальному конвеєрі: 1- $\omega=200 \text{ c}^{-1}$ ; 2- $\omega=150 \text{ c}^{-1}$

На рис. 3 представлена розрахункова схема у вигляді векторної діаграми до виводу рівняння руху виділеного об'єму у гвинтовому конвеєрі, що розміщені під кутом до горизонту і визначення його осьової швидкості

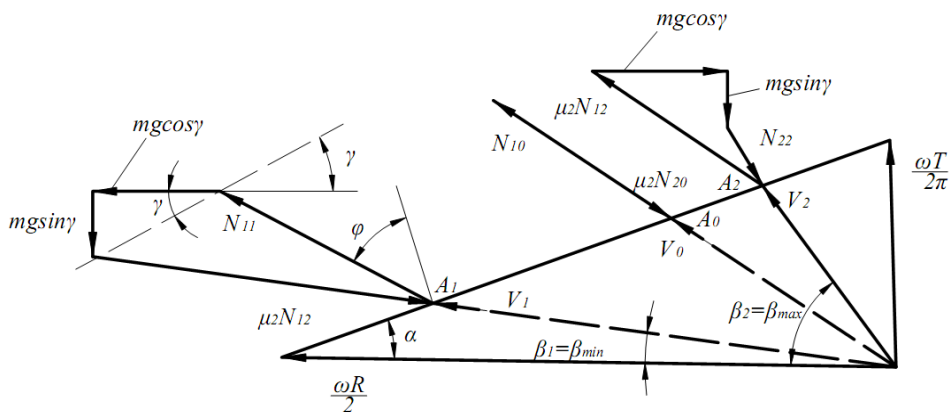


Рис. 3. Розрахункова схема виділеного об'єму у гвинтовому конвеєрі з визначенням осьової швидкості

$\alpha$  – кут підйому гвинтової спіралі;  $\beta_0$  – кут підйому траси транспортування  $g = 0$ ;  $V_0$  – швидкість частинки при  $g=0$ ;  $V_1$  – швидкість частинки максимальна (падіння);  $V_2$  – швидкість частинки мінімальна (підйом);  $N_{10}$  – сили, що діють на частинку зі сторони шнека;  $N_{20}$  – сили, що діють на частинку зі сторони жолоба ( $N_2$  співпадає з  $V$ );  $\beta$  – кут нахилу траєкторії  $\beta_1 = \beta_{\min}$  при співпаданні швидкості  $V$ , з силою тяжіння (падіння)  $\beta_2 = \beta_{\max}$  при протидії (підйомі)

Використовуючи метод графічного аналізу руху виділеного об'єму рис.3, бачимо, що максимальному значенню  $\omega_A^{\max}$  відповідає мінімальне значення  $\beta_{\min}$  і мініимальному  $\omega_A^{\min}$  – максимальне  $\beta_{\max}$ . В цих точках ( $\omega = \omega_A^{\max}$  і  $\omega = \omega_A^{\min}$ )  $\varepsilon = d\omega_A / dt = 0$  – кутові прискорення рівні нулю і рівняння руху (1) переходять у спрощені залежності

$$\Sigma \theta = 0: N_1 (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) - \mu_2 \omega_{A1,2}^2 R \sin \beta_{1,2} + g \cos \gamma = 0 \quad (4)$$

$$\Sigma z = 0: N_1 (\cos \alpha - \mu_1 \cos \alpha) - \mu_2 \omega_{A1,2}^2 \cos \beta_{1,2} - g \sin \gamma = 0$$

де, (+) відповідає  $\omega_A^{\max}$ ,  $\beta_{\min}$  коли вантаж гвинтом опускається до низу, а (-) відповідно  $\omega_A^{\min}$ ,  $\beta_{\max}$ , коли вантаж гвинтом піднімається.

Після відповідних перетворень, отримуємо рівняння:

$$\mu_2 \frac{\omega_A^2 D_{1,2}}{2} \cos(\beta_{1,2} + \alpha + \varphi_1) = g [\sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1) \mp \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1)], \quad (5)$$

де знак (+) для  $\omega_{A2} = \omega_A^{\max}$ ; (-) для  $\omega_{A2} = \omega_A^{\min}$ ; Знайдемо параметр відхилення кута  $\beta$ , що визначається  $\Delta \beta_{1,2} = \beta_{1,2} - \beta_0 = \beta_{1,2} - 90^\circ - \alpha - \gamma$ . Враховуючи те, що  $\beta_{1,2} + \alpha + \varphi = 90^\circ - \Delta \beta_{1,2}$  із залежності (5):

$$\Delta\beta_{1,2} = \beta_{1,2} - \beta_0 = \mp \arcsin \left[ \frac{g \cos(\alpha + \varphi_1 \mp \gamma)}{\mu_2 \omega_{A_{1,2}}^2 R} \right]. \quad (6)$$

Виключенням  $N_1$  із системи рівнянь отримаємо співвідношення рівноважного стану при екстремальних значеннях кутової швидкості виділеного елемента  $(\omega_A^{\min}, \omega_A^{\max})$ .

$$\mu_2 \omega_{A_{1,2}}^2 R \cos(\alpha + \beta_{1,2} + \varphi) \mp g \cos \varphi \cos(\alpha + \varphi_1) - g \sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1) \quad (7)$$

Аналіз цього рівняння [6] показує, що вплив прискорень  $d^2\theta/dt^2$  розподіляє реакції поверхонь  $N_1$  і  $N_2$  і змінює напрямок руху виділеного об'єму (параметр  $\beta$ ) в кутовому інтервалі  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ .

Запропонований метод визначення середньої колової швидкості виділеного об'єму  $\omega$  по крайніх значеннях  $\omega_1$  і  $\omega_2$  відзначається математичною строгістю і простотою реалізації.

Згідно (6) кутова швидкість обертання гвинтового робочого органу повинна визначатись, в цьому випадку, із залежності

$$\omega = \sqrt{\frac{k_w g [\cos \gamma + \sin \gamma \tan(\alpha + \gamma_1)]}{\mu_2 R}} \quad (8)$$

де  $k_w$  – експериментальний коефіцієнт.

При такому режимі роботи змішувача максимальний кут підйому траєкторії руху вантажу  $\beta_{2\max}$  визначиться із залежності:

$$\tan \beta_{2\max} = k_\beta \tan \alpha, \quad (9)$$

$$k_\beta = 1 + \frac{C}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{L_1}{C \sin \alpha (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha)}} \right], \quad (10)$$

$$C = \frac{\mu_2 \omega^2 R \tan \alpha \tan(\alpha - \varphi)}{g \sin \gamma \sqrt{1 + \tan^2(\alpha + \varphi)}}.$$

Отже, мінімальна кутова швидкість виділеного об'єму вантажу в його русі по гвинтовій траєкторії  $\omega = \omega_1^{\max}$  буде:

$$\omega_2^{\max} = \frac{\omega \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta_{2\max}} \quad (11)$$

Середня осьова швидкість переміщення вантажу у гвинтовому змішувачі при цьому

$$v_{oc} = \frac{\omega R \tan \alpha \tan \beta_{2\max}}{2(\tan \alpha + \tan \beta_{2\max})} = \frac{\omega R \tan \alpha k_\beta}{2(1 + k_\beta)} \quad (12)$$

Об'ємно продуктивність змішувача, відповідно, становить

$$Q = \frac{\pi k_\alpha k_\beta \omega R^3 \tan \alpha}{2(1 + k_\beta)} \quad (13)$$

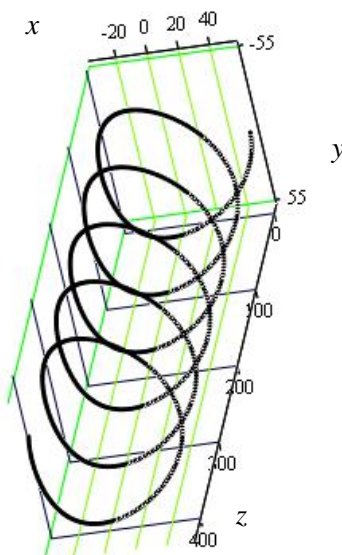
При побудові рівнянь (4) було зроблено припущення безвідривності руху. Воно виконується при забезпеченні умов коли  $N_1 > 0$ ;  $N_2 > 0$ , що справджується умова при:

$$\omega_A = \frac{d\theta}{dt} \geq \sqrt{(2g \cos \gamma) / D}. \quad (14)$$

Результати числових та експериментальних досліджень, а також досліджень, представлених в роботі [5] свідчать, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування.

Розглянемо стабільний режим транспортування у середньошвидкісному конвєсєрі (рис. 4.), в якому вантаж рухається по складній гвинтовій траєкторії і для якого при підніманні вантажу до верхньої точки дійсні умови:  $\frac{d\theta}{dt} = const = \omega_g$ ,  $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$ ,  $\frac{dR}{dt} = 0$ ,

$R = const$ ,  $\frac{d(d)}{dt} = 0$ ,  $d = const$ , де  $\omega_g$  - кутова швидкість обертання вантажу, рад/с.



**Рис. 4. Траєкторія руху виділеного об'єму вантажу у середньошвидкісному конвєсєрі:  
 $R=55$  мм;  $\omega=15$  рад/с**

Знайдемо проєкції швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно шнека на осі системи координат  $xuz$  (рис. 1)

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = R \cdot \sin(\omega_g t) \cdot (\omega - \omega_g) + d \sin(\omega_g t) \omega_g - 2d \cos(\omega_g t) \sin(\omega_g t) \omega_g; \\ \dot{y}_1 = -R \cdot \cos(\omega_g t) \cdot (\omega - \omega_g); \\ \dot{z}_1 = \frac{T_0}{2\pi} (\omega - \omega_g). \end{cases} \quad (15)$$

Проекції швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха на осі системи координат  $xuz$ :

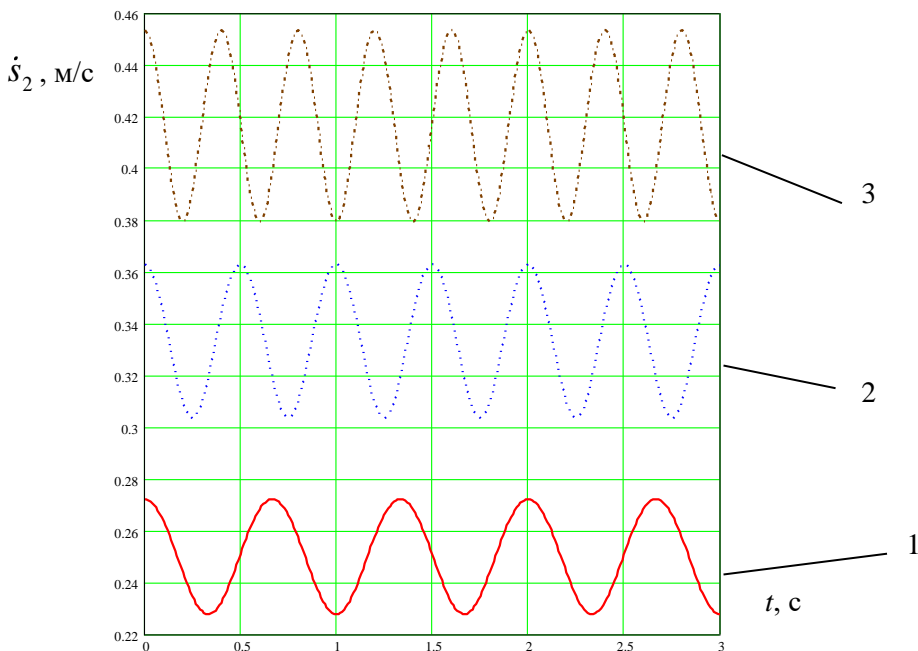
$$\begin{cases} \dot{x}_2 = (R - d) \cdot \sin(\omega_0 t) \cdot \omega_0 - 2d \cos(\omega_0 t) \sin(\omega_0 t) \omega_0; \\ \dot{y}_2 = R \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \omega_0; \\ \dot{z}_2 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_0). \end{cases} \quad (16)$$

Модулі швидкості руху виділеного об'єму вантажу визначаємо за виразами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left( R^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2} \right) (\omega - \omega_0)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_0) (\omega - \omega_0) \omega_0 (1 - 2\cos(\omega_0)) + d^2 \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0))^2}; \quad (17)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 (\omega_0)^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2} (\omega - \omega_0)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0)) + d^2 \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0))^2}. \quad (18)$$

На основі формули (18) будовані графіки зміни швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха у середньошвидкісному конвеєрі в часі (рис. 5)



**Рис. 5.** Графіки зміни швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха у середньошвидкісному конвеєрі в часі  $R=0,055\text{м}$ ,  $T_0=0,11\text{м}$  : 1 -  $n=90\text{об/хв}$ ; 2 -  $n=120\text{об/хв}$ ; 3 -  $n=150\text{об/хв}$

**Висновки і перспективи.** Приведено методику розрахунку похилих швидкохідних гвинтових конвеєрів, які в граничних режимах призводять до інтенсивного перемішування вантажу і працюють як ефективні змішувачі. Встановлено, що при

застосуванні шнеків з осьовим рухом відбувається коливання швидкості транспортування вантажу, що покращує умови змішування сипких вантажів.

Виведено залежності для визначення кінематичних та експлуатаційних параметрів, що забезпечують стабільну роботу таких змішувачів.

#### Список використаних джерел

1. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры. Москва : Машиностроение, 1972. 184 с.
2. Волков Р. А., Гнутов А. Н., Дьячков В. К. и др. Конвейеры: Справочник / под общ. ред. Ю.А. Пертена. Ленинград : Машиностроение, 1984. 367 с.
3. Барышев А.И., Будащевский В.А. и др. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия. Донецк: изд. Морд-Преса, 2005. 696 с.
4. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. докт. техн. наук : 05.20.01, 05.05.05. Київ : 1997. 502 с.
5. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. Львів : Вища школа, 1989. 176 с.
6. ГОСТ Конвейеры винтовые для кормов. Основные параметры : ГОСТ 23976 - 80. Москва : Изд-во стандартов 1980, 19 с.
7. ГОСТ Шнеки для сельскохозяйственных машин: ГОСТ 2705 - 73. Москва : Изд-во стандартов 1973, 16с.
8. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 278 с.

*Дата надходження статті до редакції: 17.07.2018*

*Рецензування: 15.08.2018 Прийняття в друк: 24.11.2018*

**Lubachivsky R.O.<sup>1</sup>**

*PhD student*

**Email:** oleglashuk@ukr.net

**Marunych O.P.**

*PhD student*

**Email:** oleglashuk@ukr.net

<sup>1</sup>*Department of Automobiles,*

*Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University*

*Ternopil, Ukraine*

## RESEARCH ON TRANSPORTATION OF BULK CARGO BY INCLINED SCREW CONVEYOR

#### **Abstract**

*To reduce energy costs and improve the quality of granular materials mixing, a number of original constructions of spiral mixers with screw working body has been developed. Screw mechanisms are frequently used in all sectors of the economy due to the concentration of the various operations in connection with transportation on the inclined surfaces of machines and mechanisms. However, the application of these constructions needs to consider issues related to the calculation of the loads on the screw working body and motion state, as well as appropriateness of their use.*

*Research study deals with the calculation of the motion state of the selected volume on inclined high speed screw conveyor. The authors examined the work of inclined screw conveyor, which includes screw working body with constant parameters. According to the contact of selected volume of cargo with the screw surface and the cylindrical surface of the shroud, its placement is determined by the radial parameter  $R$  and angular parameter  $\theta$ . On the basis of the method of graphical analysis we propose the method for determination*



of the average angular velocity of the selected volume by extreme value, that is identified by the mathematical rigor and simplicity of implementation.

The limit deviations of particles velocities in transportation and withdraw of the analytical dependence are determined. It is proved that it leads to the intensive mixing of cargo and efficient mixing at the boundary conditions. The analytical dependences for determination of the angular and axial velocity of particles on sloping surfaces are given in the study. The process of transportation and mixing of bulk cargo is explored and it is proved that fluctuations in the speed of transportation of cargo, which improves the mixing conditions of bulk cargoes, take place when we use crews with axial motion.

**Keywords:** screw working body, screw conveyor, axial rotation.

### References

1. Grigorev, A. M. (1972). *Vintovye konvejery [Screw conveyors]*. Moscow: Mashinostroenie. [in Rus.]
2. Perten, Ju.A. (Ed.), Volkov, R.A., Gnutov, A. N., & Diachkov, V.K. (1984). *Konvejery: Spravochnik [Conveyors: a Handbook]*. Leningrad: Mashinostroenie. [in Rus.]
3. Baryshev, A.I., Budashevskij, V.A. et al. (2005). *Raschet i proektirovanie transportnyh sredstv neperernogo dejstvija [Calculation and design of vehicles of continuous action]*. Donetsk: izd. Mord-Presa.
4. Rogatinskyi, R. M. (1997). *Mehaniko-tehnologichni osnovi vzaiemodii shnekovyh robochih organiv z sirovinuju silskogospodarskoho virobnytva: dis. dokt. tehn. nauk : 05.20.01, 05.05.05 [Mechanical and Technological Principles of Interaction of Auger Working Bodies with Raw Materials of Agricultural Production. Doctoral dissertation]*. Kyiv. [in Ukrainian]
5. Gevko, B. M., & Rogatinskyi, R. M. (1989). *Vintovye podajushhie mehanizmy sel'skoho zjajstvennyh mashin [Screw feed mechanisms of agricultural machines]*. Lviv: Vishha shkola.
6. Konvejery vintovye dlja kormov. Osnovnye parametry : GOST 23976 – 80 [Screw conveyors for feed. The main parameters] (1980). *Natsionalnyi standart Ukrainy*. Moscow : Izd-vo standartov.
7. Shneki dlja sel'skoho zjajstvennyh mashin. GOST 2705 – 73. *Natsionalnyi standart Ukrainy [Screws for agricultural machines GOST 2705 - 73. Moscow: Publishing House of Standards] (1973)*. Moscow : Izd-vo standartov.
8. Rohatynskyi, R.M., Hevko, I.B., & Diachun A.Ie. (2014). *Naukovo-prikladni osnovi stvorennja gvintovih transportno-tehnologichnih mehanizmiv [Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms]*. Ternopil: TNTU imeni Ivana Puljuja.

Received July 17, 2018

Revision: August 15, 2018 Accepted: November 24, 2018