



UDC 621.867.42

## THE CARGO MOVEMENT MODEL BY THE SCREW CONVEYOR SURFACES WITH THE ROTATING CASING

Roman Rogatynskiy; Ivan Hevko; Andrii Diachun;  
Olena Rogatynska; Andrii Melnychuk

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

**Summary.** The article defines regularities of the change of the angle parameter of the cargo for the case of slow-moving transport and steady motion for horizontal and hollow inclined conveyors with a rotating casing. This allows you to select the rotational speed of the casing in accordance with the conditions of transportation and the characteristics of the bulk cargo, ensuring its zero or minimum angular lift with a corresponding increase in the transport efficiency. It is established that the smaller the angular parameter of the cargo, the greater the efficiency of transportation.

**Key words:** screw conveyor, screw, casing, speed, productivity.

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2018.04.034](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.034)

Reserved 10.01.2019

### Symbolic notations:

$\theta$  – angular parameter of the material, rad;

$\omega_1$  – angular speed of the screw, rad / s;

$\omega_2$  – angular speed of casing rotation, rad / s;

$T$  – screw turn pitch, m;

$D$  – external diameter of the screw, m;

$D_0$  – internal diameter of the casing, m;

$t$  – time, c;

$u_i$  – linear independent parameter of the screw surface and cylindrical surface of the casing, m;

$v_i$  – angular independent parameter of the screw surface and cylindrical surface of the casing respectively, rad;

$c = T / (2\pi)$  – parameter of the turn pitch of the screw surface, m;

$\bar{N}_1$ ,  $\bar{N}_2$  and  $\bar{F}_1$ ,  $\bar{F}_2$  – respectively, the forces of normal reaction of the screw spiral and casing and frictional forces from their action,  $F_1 = f_1 N_1$ ,  $F_2 = f_2 N_2$ , H;

$\alpha_{\rho_i}$ ,  $\alpha_{\theta_i}$  and  $\alpha_{z_i}$  – guiding vectors cosines  $\bar{N}_i$  and  $\bar{F}_i$ , to the orthos of the coordinate system;

$\bar{a}$  – absolute acceleration of the allocated material volume, m / s<sup>2</sup>;

$\bar{G} = \bar{G}(g_x, g_y, g_z)$  – vector of the gravity force of, N;

$f_1$  and  $f_2$  – coefficients of sliding friction of the allocated material volume over the screw and casing the surfaces, respectively;

$\beta$  – inclination angle of the screw motion trajectory of the allocated material volume along the rotating casing (the angle between the vectors of the portable and absolute velocities), rad.;

$g$  – absolute value of the gravity acceleration, m / s<sup>2</sup>;

$\chi = \arctg\{f_2[\sin\beta_0 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - \cos\beta_0]\}$  – the inclination angle of the screw motion trajectory the allocated material volume along the rotating casing (the angle between the vectors of the portable and absolute velocities), rad.

**Statement of the problem.** Screw conveyors are widely used in agricultural production as conveyors, mixers, dispensers, separators, etc. In order to increase their productivity, transport and technological processes often require significant unreasonable energy costs that do not provide the process efficiency. Therefore, in order to obtain high performance of transport and technological processes with screw conveyors, it is possible to create their

modernized designs with transporting casings. In such structures there is a shift of the transporting material, which provides the necessary friction of the screw with the material and the casing making it possible to increase the productivity of transport operations.

**Analysis of the available investigations and publications.** The problems of theoretical substantiation of the process of screw conveyors operation, methods of their parameters calculation, and the development of progressive structures are concerned in papers by A.M. Grigorieva [2], B.M. Gevka [1], V.S. Loveikina [3], Chris Rorres [4] and others. Particular attention is paid by the authors to the problem of choosing the operating elements parameters and studying the cargo transportation processes. However, the problem of increasing the productivity by improving the transportation process always remains important one and requires further research.

**The objective of the paper** is to construct and analyze the model of cargo movement by the surfaces of the screw conveyor with rotating casing in the cylindrical coordinate system.

**Implementation of the investigation.** In order to increase the productivity of cargo transportation by screw conveyors, the problem of finding their progressive structures [5] is of great importance. Such mechanisms include screw conveyors with rotary casings. On the basis of the carried out patent search, analysis of scientific literary sources and their synthesis [5], we developed and patented a number of screw conveyors designs with rotating casings, on the basis of which the experimental installation was designed and manufactured. The general form of it is presented in Figure 1. The screw operating element and the casing (the screw operating element is an electric motor with 2.2 kW capacity; the casing is an electric motor with 1.5 kW capacity) were driven by separate electric motor. Due to this installation a number of experimental investigations [6] were carried out, their results proved that the increase of the casing rotational speed results in the screw conveyor productivity growth by 18 – 25% compared to its operation with the fixed casing. It was also determined [7] that the use of the screw conveyor with the rotating casing (in which the screw rotates with 700 rev./min. speed) with the operator involved is reasonable with the casing rotational speed of 624 rev./min, and without it with the rotational speed of 468 rev./min. (the energy saving effect is 10.9%). The casing rotation in the screw conveyor enables with certain structural and technological parameters to obtain significant economic effect and sufficiently increase the efficiency of transport operations without excessive electricity consumption. The overall economic effect while using the optimal parameters of the screw conveyor with the rotating casing will be more than 10%. Also, the positive point is that due to the material perturbation from the casing rotation, the power consumption for the screw rotation is significantly reduced.

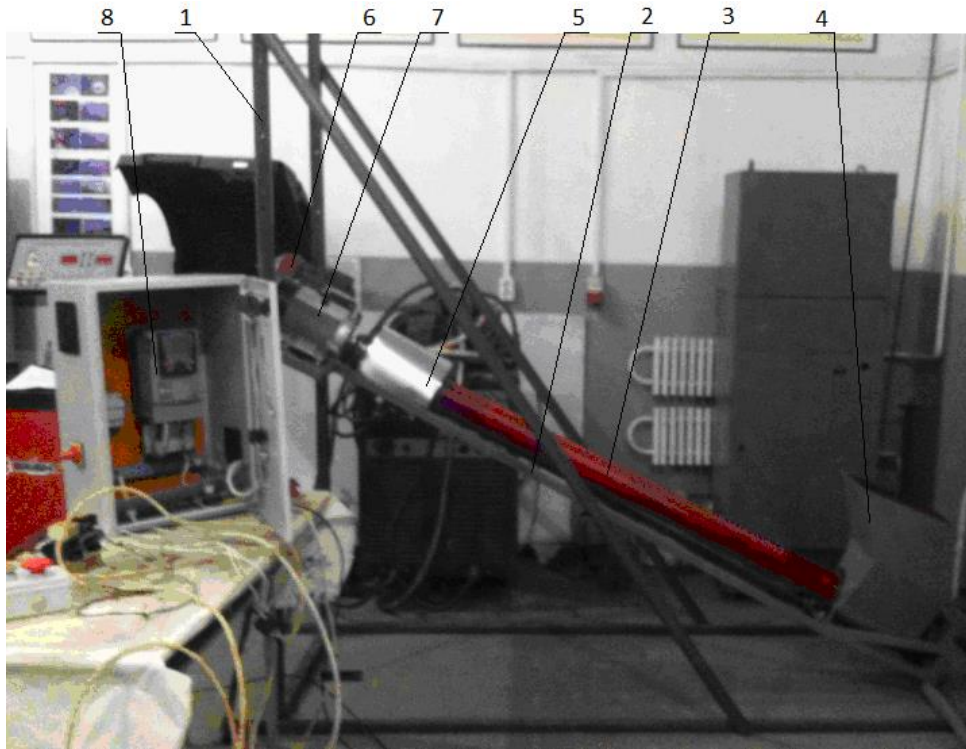
In order to analyze the cargo movement by the screw conveyor surfaces with the rotating casing, let us consider the straight screw conveyor with the screw (fig. 2). During the operation of the screw conveyor with the rotating casing, the coordinates of the bulk material location and its motion character are determined by the angular material parameter  $\theta$  [8, 9]. Let us choose the screw with the left-hand winding where in the cylindrical coordinate system  $O\rho\theta z$ , its movement is in positive direction  $\theta$  results in the cargo displacement in the direction of  $Oz$  axis, and its initial location  $\theta = 0$  will be in the lowest part.

The screwsurface equation (left-hand winding) in the polar coordinate system is as follows:

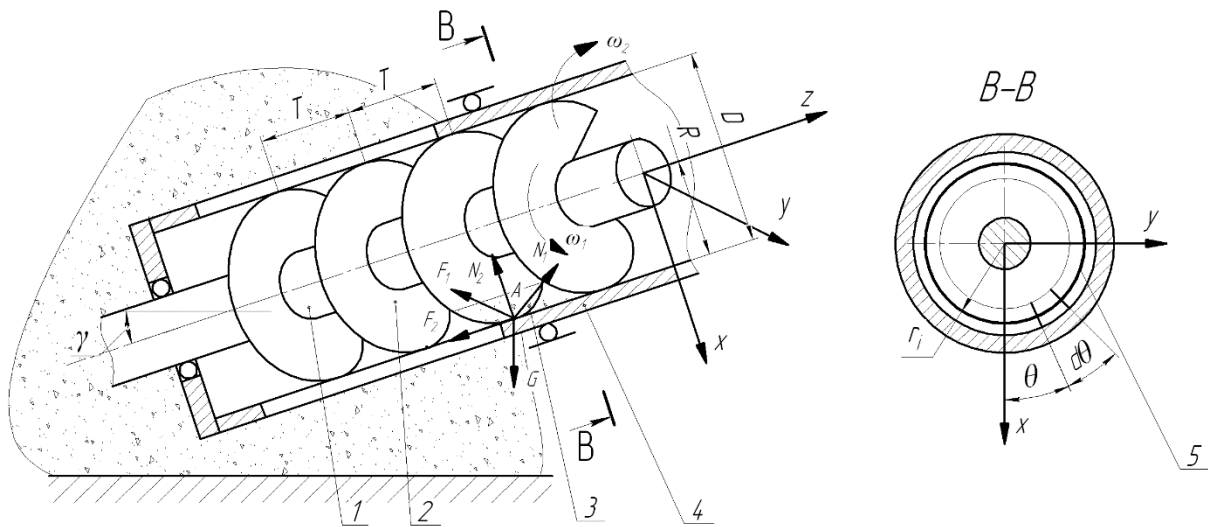
$$\rho_1 = u_1; \theta_1 = v_1; z_1 = -Tv_1 / (2\pi) = -cv_1. \quad (1)$$

Equation of the casing cylindrical surface is:

$$\rho_2 = D_0 / 2 = R; \theta_2 = v_2; z_2 = u_2. \quad (2)$$



**Figure 1.** General view of the experimental installation: 1 – support for adjusting the cargo height; 2 – frame; 3 – rotating casing with screw inside; 4 – bunker; 5 – discharge nozzle; 6 – drive screw; 7 – drive casing; 8 – control point for the rotational speed of the casing and screw drives



**Figure 2.** Calculation scheme of the motion of the allocated material volume in the hollow inclined screw conveyor: 1 – drive shaft; 2 – screw; 3 – the allocated material volume; 4 – rotating casing; 5 – the material motion trajectory during the cargo movement

Differential equations of the material particle motion are derived respectively in [8]. In order to simplify further calculations with respect to the flow of motion, let us consider the derivation of the equations of motion of the material part in the cylindrical coordinate system  $O\rho\theta z$ . Let us consider the allocated material volume  $A$ , moving by the casing and screw surfaces while the latter is rotating. To ensure the connections of the allocated material volume with each surface, we assume that  $D = D_0 = 2R$ .

Using the D’Alamber principle the motion equation for the allocated material volume is as follows:

$$\bar{N}_1 + \bar{F}_1 + \bar{N}_2 + \bar{F}_2 + \bar{G} - m\bar{a} = 0, \tag{3}$$

In the case of slow-speed transportation for stable motion, the cargo angle parameter is  $\theta = \theta_0 \rightarrow \text{const}$ . Relatively  $d\theta/dt = 0$ ,  $d^2\theta/dt^2 = 0$ . Then the vector of the cargo absolute speed is directed parallel to the axis  $Oz$  and relatively to the fixed casing is determined by the angle  $\beta_0 = \pi/2$ . The relative cargo speed respectively to the rotating casing will be  $\bar{v}_e = \bar{v} - \bar{v}_k$ . Relatively  $v_e = \sqrt{(c\omega_1)^2 + (R\omega_2)^2}$ , and its direction respectively to the rotating casing surface will be determined by the angle  $\beta_e = \text{arctg}(c\omega_1 / R\omega_2)$ .

The vectors of each resultant surface reactions in the polar coordinate system will be  $\bar{R}_i = \bar{N}_i + \bar{F}_i = \{\alpha_{\rho i} N_i; \alpha_{\theta i} N_i; \alpha_{z i} N_i\}$ .

In the case of the distribution on the coordinate axes of the cylindrical coordinate system, the equation (3) is as follows:

$$\begin{aligned} \alpha_{\rho 1} N_1 + \alpha_{\rho 2} N_2 + G_\rho &= 0; \\ \alpha_{\theta 1} N_1 + \alpha_{\theta 2} N_2 + G_\theta &= 0; \\ \alpha_{z 1} N_1 + \alpha_{z 2} N_2 + G_z &= 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Vectors  $\bar{N}_1$  and  $\bar{N}_2$  are directed perpendicular to the screw and casing surfaces, respectively, and vectors  $\bar{F}_1$  and  $\bar{F}_2$  are located in planes tangent to the screw and casing surfaces, respectively, at the point of contact with the allocated material volume and are directed opposite to the vectors of the relative velocity of the allocated material volume relatively to each of the surfaces.

Consequently, the coefficients of the connecting vectors of the allocated material volume with the corresponding surface are:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \{\alpha_{\rho 1}; \alpha_{\theta 1}; \alpha_{z 1}\} = \{0; \sin \alpha + f_1 \cos \alpha; \cos \alpha - f_1 \sin \alpha\}; \\ \alpha_2 &= \{\alpha_{\rho 2}; \alpha_{\theta 2}; \alpha_{z 2}\} = \{-1; -f_2 \cos \beta_0; -f_2 \sin \beta_0\}, \end{aligned} \tag{5}$$

For the conveyor, inclined towards the horizon at an angle  $\gamma$ , are respectively:  $g_\rho = g \sin \theta \cos \gamma$ ;  $g_\theta = -g \cos \theta \cos \gamma$ ;  $g_z = -g \sin \gamma$ .

$$\begin{aligned} -N_2 + g \cos \theta \cos \gamma &= 0; \\ (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) N_1 - f_2 \cos \beta_0 \cdot N_2 - g \sin \theta \cos \gamma &= 0; \\ (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) N_1 - f_2 \sin \beta_0 \cdot N_2 - g \sin \gamma &= 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Excepting  $N_1$ ,  $N_2$  from the system (6), analogous to [8], we derive the motion equation of the allocated material volume in polar coordinates.

$$\frac{f_2 \cos \beta_0 \cos \theta \cos \gamma + \sin \theta \cos \gamma}{\sin \alpha + f_1 \cos \alpha} - \frac{f_2 \sin \beta_0 \cos \theta \cos \gamma - \sin \gamma}{\cos \alpha - f_1 \sin \alpha} = 0. \quad (7)$$

For horizontal conveyor:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= f_2 [\sin \beta_0 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - \cos \beta_0], \\ \operatorname{tg} \theta &= \frac{f_2 [c \omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R \omega_2]}{\sqrt{c^2 \omega_1^2 + R^2 \omega_2^2}}. \end{aligned} \quad (8)$$

The condition for the cargo transportation with zero angle lift (at  $\theta = 0$ ) the location for the horizontal conveyor will be realized while providing the angular casing velocity:

$$\omega_2 = \omega_1 (c/R) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) = \omega_1 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (9)$$

Cargo transportation with zero angular lift (at  $\theta = 0$ ) location for the hollow inclined conveyor  $\gamma \neq 0$  will be provided at the angular casing velocity in case when:

$$\sin \theta - f_2 [\sin \beta_0 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - \cos \beta_0] \cos \theta = \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1), \quad (10)$$

hence:

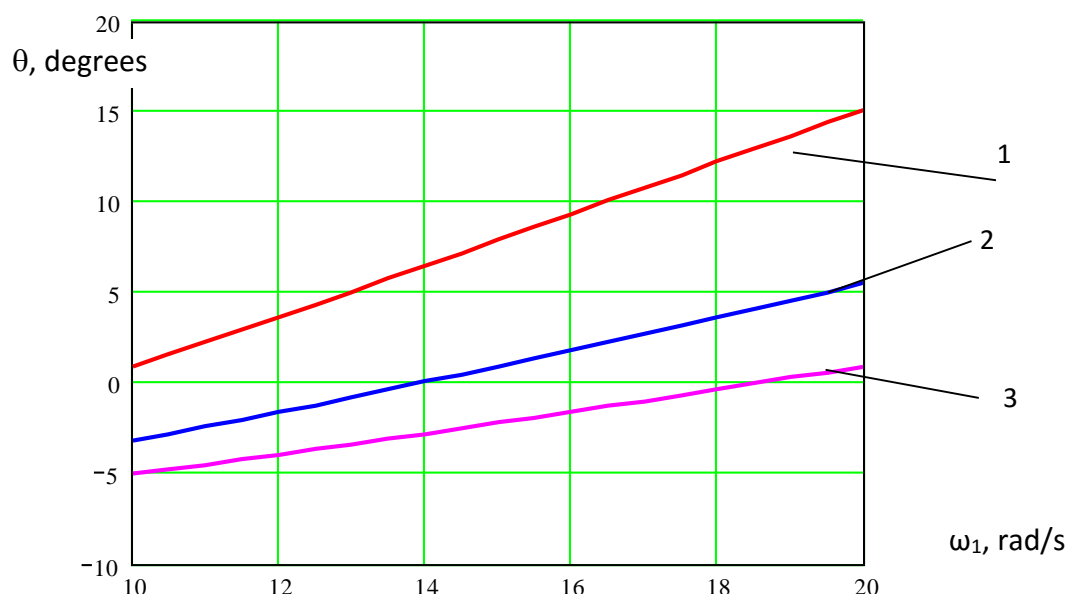
$$\sin(\theta - \chi) = \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \sqrt{1 + \frac{f_2^2 [c \omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R \omega_2]^2}{c^2 \omega_1^2 + R^2 \omega_2^2}}, \quad (11)$$

From equation (11) we derive:

$$\begin{aligned} \theta &= \operatorname{arctg} \left\{ \frac{f_2 [c \omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R \omega_2]}{\sqrt{c^2 \omega_1^2 + R^2 \omega_2^2}} \right\} + \\ &+ \operatorname{arcsin} \left\{ \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \sqrt{1 + \frac{f_2^2 [c \omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R \omega_2]^2}{c^2 \omega_1^2 + R^2 \omega_2^2}} \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

On the basis of equation (12), it is possible to select the casing rotational speed in accordance with the conditions of transportation and the characteristics of the bulk cargo providing its zero or minimum angular lifting with the corresponding increase of transport efficiency.

According to the investigation results the graphic dependences of the cargo angle lift on the screw rotating speed at different casing velocities are constructed (Fig. 3).



**Figure 3.** Graphic dependencies of the cargo angle lift on the screw rotating speed  $f_1=0,7$ ;  $\gamma=15$  degrees: 1 –  $\omega_2=10$  rad/s; 2 –  $\omega_2=15$  rad/s; 3 –  $\omega_2=20$  rad/s

**Conclusion.** Based on the analysis of the model of the bulk cargo movement by the screw conveyor surfaces with rotating casing in the cylindrical coordinate system, conditions for the cargo transportation with its zero angle lift for horizontal and hollow inclined screw conveyors, resulting in the transportation efficiency increase are determined.

#### References

1. Gevko B.M., Rogatinsky R.M.. Mechanisms with screw devices. Lviv, World, 1993. 208 p. [In Ukrainian].
2. Grigorev A.M. Screw Conveyors. Moscow, Mechanical Engineering, 1972. 184 p. [In Russian].
3. Lojekin V.S., Rogatinskaya O.R. Choice of rational parameters and modes of operation of vertical screw conveyors. Collection of scientific works of Vinnitsa State Agrarian University, 2005, no. 23, pp. 181 – 195 [In Ukrainian].
4. Chris Rorres. The turn of the screw: Optimal design of an Archimedes screw. Journal of Hydrauling, January 2000. pp. 72 – 80. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:1\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72))
5. Rogatinsky R.M., Hevko I.B., Dyachun A.E., Varian A.R., Melnichuk A.L., Shust I.M. Generation of structures of screw mechanisms by morphological analysis with hierarchical grouping. Collection of scientific works «Perspective Technologies and Devices», 2017, no. 10, pp. 186 – 192. [In Ukrainian].
6. Rogatinsky R.M., Hevko Yv.B., Dyachun A.E., Melnichuk A.L., Varian A.R. Research of the performance of a screw conveyor with a rotating casing. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. «Technical systems and technologies of animal husbandry. Technical service of machines for plant growing», 2017, no. 181, pp. 285 – 293. [In Ukrainian].
7. Hevko Yv.B., Diachun A.E., Melnichuk A.L., Zoloty R.Z., Shust I.M. Feasibility study of increase of productivity of transport-technological processes with the help of screw conveyors with rotary casing. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. Mechanization of agricultural production, 2018, no. 190., pp. 318 – 326. [In Ukrainian].
8. Gevko B.M., Rogatynsky R.M. Screw Feeding Mechanisms of Agricultural Machines. Lviv, Higher school, 1989. 176 p. [In Ukrainian].
9. Rogatinsky R.M., Hevko I.B., Dyachun A.E. Scientific and applied foundations of creation of screw transport and technological mechanisms. Ternopil, 2014. 280 p. [In Ukrainian].

### Список використаної літератури

1. Гевко, Б.М. Механізми з гвинтовими пристроями [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський. – Львів: Світ, 1993. – 208 с.
2. Григорев, А.М. Винтовые конвейеры [Текст] / А.М. Григорев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Ловейкін, В.С. Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів [Текст] / В.С. Ловейкін, О.Р. Рогатинська // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – 2005. – Вип. 23. – С. 181 – 195.
4. Chris Torres. The turn of the screw: optimal design of an Archimedes screw/ Journal of hydrauling / January 2000. – Pp. 72 – 80. Режим доступа: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:1\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72))
5. Генерування конструкцій гвинтових механізмів методом морфологічного аналізу з ієрархічним групуванням Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Р. Вар'ян, А.Л. Мельничук, І.М. Шуст // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». – Випуск 10, – Луцьк, 2017. – С. 186 – 192.
6. Дослідження продуктивності гвинтового конвеєра з обертовим кожухом [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, А.Р. Вар'ян // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Технічні системи і технології тваринництва. Технічний сервіс машин для рослинництва» – 2017. – Випуск 181. – С. 285 – 293.
7. Техніко-економічне обґрунтування підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами [Текст] / І.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, Р.З. Золотий, І.М. Шуст // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2018. – Вип. 190. – С. 318 – 326.
8. Гевко, Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинский. – Львов : Выща школа, 1989. – 176 с.
9. Рогатинський, Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль, 2014. – 280 с.

**УДК 621.867.42**

## **МОДЕЛЬ РУХУ ВАНТАЖУ ПОВЕРХНЯМИ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ**

**Роман Рогатинський; Іван Гевко; Андрій Дячун;  
Олена Рогатинська; Андрій Мельничук**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
Тернопіль, Україна*

***Резюме.** Визначено закономірності зміни кутового параметру вантажу для випадку тихохідного транспортування й усталеного руху для горизонтального та полого нахиленого конвеєрів з обертовим кожухом, що дозволяє підбирати частоту обертання кожуха відповідно до умов транспортування та характеристик сипкого вантажу із забезпеченням його нульового або мінімального кутового підйому з відповідним збільшенням продуктивності транспортування. Представлено загальний вигляд експериментальної установки, базовим елементом якої є гвинтовий конвеєр з обертовим кожухом, що спроектований на основі патентного пошуку, творчого підходу, проведеного синтезу та аналізу ряду запатентованих конструкцій. У результаті багатофакторних експериментальних досліджень встановлено раціональні робочі параметри запропонованого гвинтового конвеєра, які забезпечують підвищення продуктивності та ефективності транспортування сипких матеріалів порівняно зі застосуванням звичайного гвинтового конвеєра, при однакових діаметрах кожухів. Встановлено*

загальний економічний ефект при використанні раціональних параметрів роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом. Для теоретичного аналізу процесу транспортування сипкого вантажу запропонованим гвинтовим конвеєром розроблено відповідну розрахункову схему із прийнятими спрощеннями та допущеннями. При цьому для спрощення математичних перетворень при виведенні рівнянь руху сипкого вантажу здійснено перехід від декартової системи координат до циліндричної. Встановлено, що під час роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом координати розміщення сипкого матеріалу та його характер руху визначається кутовим параметром. На основі принципу Д'Аламбера виведено рівняння руху виділеного об'єму матеріалу в циліндричній системі координат. При цьому у випадку тихохідного транспортування для усталеного руху кутовий параметр вантажу прийнято постійною величиною, а його кутова швидкість та прискорення дорівнюють нулю. Встановлено умови забезпечення транспортування вантажу з нульовим кутовим підйомом розміщення для горизонтального та полого нахиленого гвинтових конвеєрів. За результатами досліджень побудовано графічні залежності зміни кутового підйому вантажу від швидкості обертання шнека при різних швидкостях обертання кожуха. Чим менший кутовий параметр вантажу, тим більша продуктивність транспортування, оскільки матеріал буде переміщуватися більше в осьовому напрямку при мінімальному коловому напрямку з перекиданням. Тому отримані рівняння можна використовувати для знаходження раціональних конструктивних і технологічних параметрів конвеєра, задавши кутовий параметр, який дорівнює нулю.

**Ключові слова:** гвинтовий конвеєр, шнек, кожух, частота обертання, продуктивність.

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2018.04.034](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.034)

Отримано 10.01.2019