

THE STUDY OF BULK MATERIAL KINEMATICS IN A SCREW CONVEYOR-MIXER

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ В ГВИНТОВОМУ КОНВЕЄРІ-ЗМІШУВАЧІ

Prof. Ph.D. Eng Hewko B.M., Prof. Ph.D. Eng. Popovich P.V., Lect. Ph.D. Eng. Diachun A.Y.,
Lect. Ph.D. Eng. Lyashuk O.L., Eng. Liubachivskiy R.O.

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine
E-mail: Oleg-lashyk@rambler.ru

Abstract: Based on the equation of motion in a screw conveyor-mixer, the kinematics of bulk material is researched. The motion of bulk material in medium speed operation mode of screw conveyor-mixer is analyzed in details. The technique of determining the nature of loading the screw conveyor elements is developed. The analytical dependences for determining the speed change of the given bulk material volume in relation to a casing in medium speed mode of conveyor while mixing the bulk material are developed. This technique can be widely used for designing the screw transport and technological systems

Key words: screw working body, screw conveyor, auger, bulk material.

INTRODUCTION

Nowadays screw conveyors are widely used for technological transporting and mixing the bulk materials. These conveyors are characterized by simplicity of their design. They are highly reliable, easy to use and easy to adapt when used in automated systems, and they are ecologically friendly as well [7,8,9]. To cut down power consumption and to increase the quality of mixing the bulk materials, a number of screw mixers' original designs are developed. The use of the working body depends on the peculiarities of bulk material loading the auger as well as on the peculiarities of the nature of bulk material motion, and the practicability of using the auger working body.

The advantages of using such augers include the increase of load coefficient in the area of transporting the bulk material from a tanker into auger that leads to the increase of conveyor's productivity.

Analysis of recent research and publications

The works of Grygoryev A.M. [2], Hewko B.M., Rohatynskiy R.M. [4, 5, 6], Hewko I.B. [3, 6] and others are dedicated to the issue of transporting and mixing different materials.

However, taking into account the diversity of technological processes and structural designs of screw transport and technological mechanisms (STTM), this issue requires further research and refinement of various parameters of theoretical and practical importance.

The objective is to develop engineering methods of computing the screw conveyor-mixer operation mode with a choice of kinematic and dynamic parameters that minimize their power consumption.

Резюме: Приведено дослідження кінематики сипкого матеріалу на основі рівнянь руху у гвинтовому конвеєрі-змішувачі. Проведено детальний аналіз руху сипкого матеріалу у середньошвидкісному режимі гвинтовому конвеєрі-змішувачі і розроблено методику встановлення характеру навантаження на елементи гвинтового конвеєра, виведено аналітичні залежності для визначення зміни швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно кожуха у середньошвидкісному режимі конвеєра під час змішування сипкого матеріалу, що можна широко використовувати при проектуванні гвинтових транспортно-технологічних систем.

Ключові слова: гвинтовий робочий орган, гвинтовий конвеєр, шнек, сипкий матеріал.

ПЕРЕДМОВА

Для технологічних операцій переміщення і змішування сипких матеріалів велике розповсюдження набули гвинтові конвеєри, які характеризуються простотою конструкції та, відповідно, високою надійністю, прості в користуванні та легкою адаптуванням при використанні в автоматизованих системах, екологічністю використання [7,8,9]. Для зменшення енергетичних витрат і підвищення якості змішування сипких матеріалів розроблено ряд оригінальних конструкцій гвинтових змішувачів. Застосування таких шнеків потребує вирішення питань, пов'язаних з особливостями визначення навантажень на робочий орган та характеру руху сипкого матеріалу, а також доцільності їх використання.

До переваг застосування таких шнеків можна віднести збільшення коефіцієнта завантаження у зоні переміщення сипкого матеріалу із бункера на шнек, що призводить до зростання його продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням транспортування і змішування різних матеріалів присвячені праці Григор'єва А.М. [2], Гевко Б.М., Рогатинського Р.М. [4, 5, 6], Гевко І.Б. [3, 6] та інших.

Однак, враховуючи різноманітність технологічних процесів і конструктивного виконання гвинтових транспортно-технологічних механізмів (ГТТМ), потребує подальших досліджень та уточнень різних параметрів теоретичного й практичного значення.

Мета роботи є розроблення інженерної методики розрахунку середньошвидкісному режимі гвинтового конвеєра-змішувача з вибором кінематичних та динамічних параметрів, які мінімізують їх енергоємність.

MATERIAL AND METHOD

To mix the bulk material effectively, the conveyor should work in the medium speed mode, this is the characteristic feature of screw conveyor-mixers (fig.1).

Based on experimental research it is proved that the material in the cross section of conveyor casing is lifted to the upper point and falls on the inner surface of the cylindrical casing under the force of gravity, repeating the cycle by the cycle.

The motion trajectories of the given bulk material volume in the cross section of conveyor casing in the fast- and medium speed modes are compared in fig. 2.

The angular parameter θ is determined by the nature of bulk material motion during the screw conveyor operation.

To determine the nature of bulk material transportation, the motion of the given bulk material volume along the coordinates xyz (fig.1) should be considered.

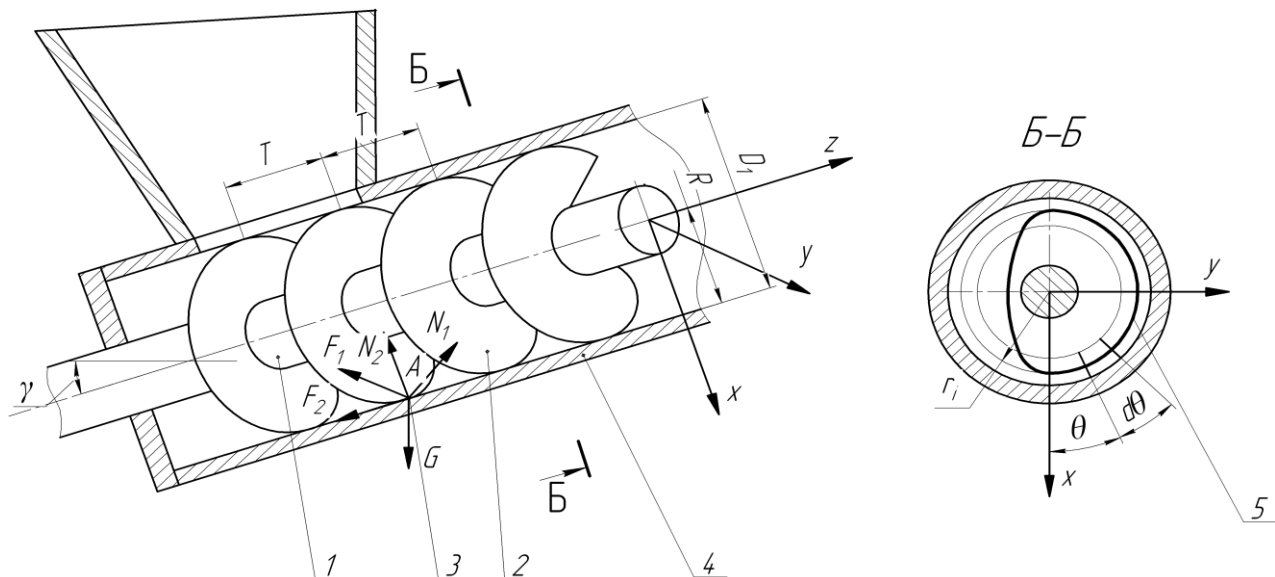


Fig. 1. - Computation scheme of transporting the given bulk material volume in the inclined screw conveyor:

1 - drive shaft; 2 - screw working body; 3 - given bulk material volume; 4 - casing;
5 - trajectory of bulk material motion in the medium speed mode (mode of transporting and mixing)

When the conveyor operates in the medium speed mode, the bulk material is mixed and transported simultaneously.

Taking into account the contact of the given bulk material volume A with the auger's screw surface and the cylindrical surface of the casing, the placement is determined by the radial parameter R and the angular parameter θ .

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА

Особливістю гвинтових конвеєрів-змішувачів (рис. 1.) є те, що для ефективного змішування сипкого матеріалу конвеєр повинен працювати у середньошвидкісному режимі.

При цьому на основі експериментальних досліджень встановлено, що матеріал у поперечному перерізі кожуха конвеєра піднімається до верхньої точки і під дією сили ваги падає на внутрішню циліндричну поверхню кожуха, повторюючи наступний цикл.

Порівняння траєкторій руху виділеного об'єму сипкого матеріалу у поперечному перерізі кожуха конвеєра при швидкісному та середньошвидкісному режимах представлено на рис. 2.

Під час роботи гвинтового конвеєра кутівий параметр θ визначається особливостями руху сипкого матеріалу.

Для встановлення характеру переміщення сипкого матеріалу розглянемо рух виділеного об'єму сипкого матеріалу в координатах xyz (рис. 1).

Розглянемо середньошвидкісний режим роботи конвеєра, при якому відбувається одночасне змішування та транспортування сипкого матеріалу.

Із умови контакту виділеного об'єму сипкого матеріалу A з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха, її розміщення визначається радіальним параметром R і кутівим параметром θ .

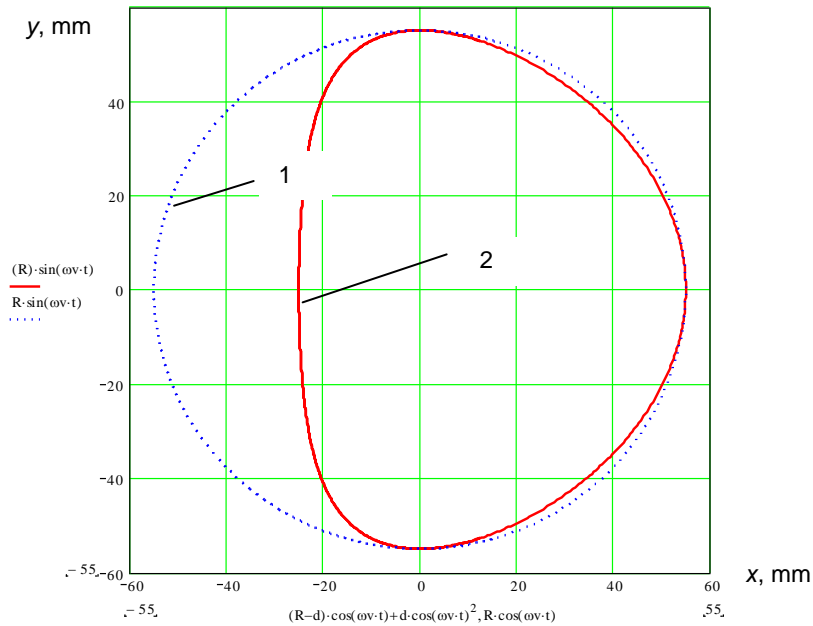


Fig. 2. - Motion trajectories of the given bulk material volume in cross section of casing in the fast speed 1 and medium speed 2 modes as compared

In parametric form, with sufficient approximation, the coordinates of the given bulk material volume A are determined by the dependences:

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

$$\begin{cases} x_A = (R - d) \cdot \cos \theta + d \cos^2 \theta; \\ y_A = R \cdot \sin \theta; \\ z_A = \frac{T_0(\omega t - \theta)}{2\pi}. \end{cases} \quad (1)$$

Where:

x_A, y_A, z_A , – coordinates of the given bulk material volume, m; R – radial parameter of the given bulk material volume, m; θ – angular parameter of the given bulk material volume, rad; ω – angular speed of working body rotation, rad/s; t – time, s; d – parameter that determines the displacement of motion trajectory of the given bulk material volume in medium speed mode as compared with the fast speed mode, T_0 - step, mm.

Parameter d is the function of angular speed of working body rotation, the inner radius of casing, and the transported material properties. The angular speed of working body rotation increases, the parameter d decreases. The inner radius of casing increases, the parameter d increases as well. In fast speed mode $d=0$, this parameter can be determined with the use of parametrical dependences based on experimental research.

Motion speeds of the given bulk material volume related to the auger along the axes x, y, z :

Де:

x_A, y_A, z_A , – координати виділеного об'єму сипкого матеріалу, м; R – радіальний параметр виділеного об'єму сипкого матеріалу, м; θ – кутовий параметр виділеного об'єму сипкого матеріалу, рад; ω – кутова швидкість обертання шнека, рад/с; t – час, с; d – параметр, що визначає зміщення траєкторії руху виділеного об'єму сипкого матеріалу при середньошвидкісному режимі від швидкісного режиму, мм; T_0 - крок витків, мм.

Параметр d є функцією кутової швидкості обертання шнека, внутрішнього радіуса кожура та властивостей транспортованого матеріалу, при чому із збільшенням кутової швидкості обертання шнека цей параметр зменшується, а при збільшенні внутрішнього радіуса кожура – збільшується. При швидкохідному режимі $d=0$. Цей параметр можна визначити за емпіричними залежностями на основі експериментальних досліджень.

Швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно шнека в напрямку осей x, y, z :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dot{x}_A - \dot{x}_{1u}; \\ \dot{y}_1 = \dot{y}_A - \dot{y}_{1u}; \\ \dot{z}_1 = \dot{z}_A - \dot{z}_{1u}, \end{cases} \quad (2)$$

where $\dot{x}_A, \dot{y}_A, \dot{z}_A$, - projections of motion speed of the given bulk material volume on the axes of coordinates xyz, m/s.

$\dot{x}_{1u}, \dot{y}_{1u}, \dot{z}_{1u}$ – projections of motion speed of the working body on the axes of coordinates xyz, m/s.

As the casing is motionless, the motion speeds of the given bulk material volume related to the casing along the axes x, y, z equal:

де $\dot{x}_A, \dot{y}_A, \dot{z}_A$, - проєкції швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу на осі координат хуz, м/с;
 $\dot{x}_{1u}, \dot{y}_{1u}, \dot{z}_{1u}$ – проєкції швидкості руху шнека на осі координат хуz, м/с.
 Оскільки кожух нерухомий, то швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно кожуха в напрямку осей x, y, z, дорівнюють:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = \dot{x}_A; \\ \dot{y}_2 = \dot{y}_A; \\ \dot{z}_2 = \dot{z}_A. \end{cases} \quad (3)$$

The projections of motion speed of the given bulk material volume are defined by differentiating the equation (1) for the general case, when $R \neq const$:

Проєкції швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу знаходимо, диференціюючи рівняння (1) для загального випадку, коли $R \neq const$:

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

Motion speed of screw working body is determined by dependences:

Швидкість руху гвинтового робочого органу визначаємо за залежностями:

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

According to (2) and taking into account the dependences (4) and (5), we develop the formulas:

Згідно з (2), враховуючи залежності (4) і (5), знаходимо:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{d(R-d)}{dt} \cos \theta + R \cdot \sin \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + d \sin \theta \frac{d\theta}{dt} + \frac{d(d)}{dt} \cos^2 \theta - 2d \cos \theta \sin \theta \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{y}_1 = \frac{dR}{dt} \sin \theta - R \cdot \cos \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{z}_1 = \frac{T_0}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right). \end{cases} \quad (6)$$

The modules of motion speed of the given bulk material volume are determined by formulas:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2} \quad (7)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{\dot{x}_A^2 + \dot{y}_A^2 + \dot{z}_A^2} \quad (8)$$

Inserting the equations (4) and (6) into (7) and (8), and hypothesizing that the casing has a cylindrical shape with $R = \text{const}$, $d = \text{const}$, after the cuts, we get the formulas:

Модулі швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу визначаємо за формулами:

Підставляючи рівняння (4) і (6) у (7) і (8), приймаючи допущення, що жолоб має циліндричну форму, при цьому $R = \text{const}$, $d = \text{const}$, після скорочень, отримуємо:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2}\right)\left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 + 2Rd \sin^2 \theta \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) \frac{d\theta}{dt} (1 - 2\cos \theta) + d^2 \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 (1 - 2\cos \theta)^2} \quad (9)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 + 2Rd \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 (1 - 2\cos \theta) + d^2 \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 (1 - 2\cos \theta)^2} \quad (10)$$

The acceleration of the given bulk material volume is determined by differentiating the equation (6) when $R = \text{const}$; $d = \text{const}$.

Прискорення виділеного об'єму сипкого матеріалу визначаємо, диференціюючи рівняння (6) при $R = \text{const}$; $d = \text{const}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) - R \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + d \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + d \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + \\ + 2d \left(\sin^2(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} - \cos^2(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} - 2\cos \theta \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} \right); \\ \ddot{y} = R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt}\right) + R \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{z} = -\frac{T_0}{2\pi} \frac{d^2\theta}{dt^2}. \end{array} \right. \quad (11)$$

RESULTS

The numerical and experimental research as well as the research presented in the work [8] prove that the stable mode of transportation is set regardless of the initial conditions of transportation after the passage of transitional mode zone.

The stable mode of transportation in medium speed mode of conveyor (fig.3) should be considered, In this

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати числових та експериментальних досліджень, а також досліджень, представлених в роботі [8] свідчать, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування.

Розглянемо стабільний режим транспортування

mode the bulk material is transported along the complex screw trajectory; and when the bulk material is lifted to the upper point, the following conditions are actual: $\frac{d\theta}{dt} = \text{const} = \omega_e$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$, $\frac{d(d)}{dt} = 0$, $d = \text{const}$, where ω_e - angular speed of working body rotation, rad/s.

у середньошвидкісному конвеєрі (рис. 3), в якому сипкий матеріал рухається по складній гвинтовій траєкторії і для якого при підніманні вантажу до верхньої точки дійсні умови: $\frac{d\theta}{dt} = \text{const} = \omega_e$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$, $\frac{d(d)}{dt} = 0$, $d = \text{const}$, де ω_e - кутова швидкість обертання сипкого матеріалу, рад/с.

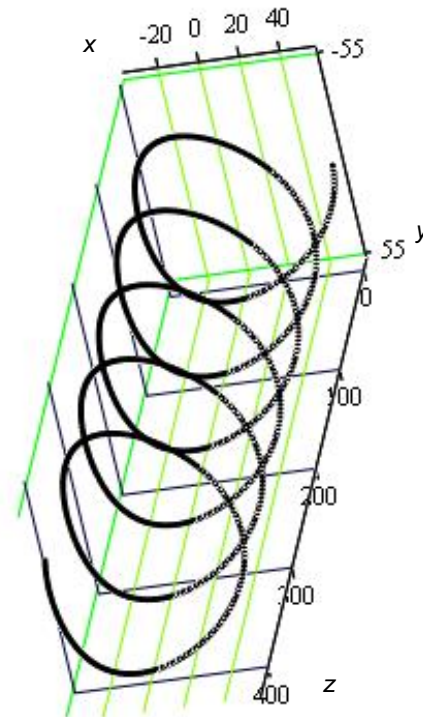


Fig. 3. - Motion trajectory of the given bulk material volume in medium speed mode of conveyor R=55 mm, $\omega=15$ rad/s.

Under the acceptable conditions from (6), the projections of motion speed of the given bulk material volume related to the auger on the axis of coordinate system xyz can be developed

При прийнятих умовах з (6) знайдемо проєкції швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно шнека на осі системи координат хуз

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = R \cdot \sin(\omega_e t) \cdot (\omega - \omega_e) + d \sin(\omega_e t) \omega_e - 2d \cos(\omega_e t) \sin(\omega_e t) \omega_e; \\ \dot{y}_1 = -R \cdot \cos(\omega_e t) \cdot (\omega - \omega_e); \\ \dot{z}_1 = \frac{T_0}{2\pi} (\omega - \omega_e). \end{cases} \quad (12)$$

Projections of motion speed of the given bulk material volume related to the casing on the axis of coordinate system xyz:

Проєкції швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно кожуха на осі системи координат хуз:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = (R-d) \cdot \sin(\omega_\theta t) \cdot \omega_\theta - 2d \cos(\omega_\theta t) \sin(\omega_\theta t) \omega_\theta; \\ \dot{y}_2 = R \cdot \cos(\omega_\theta t) \cdot \omega_\theta; \\ \dot{z}_2 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_\theta). \end{cases} \quad (13)$$

Modules of motion speed of the given bulk material volume are determined by formulas:

Модулі швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу визначаємо за виразами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2}\right) (\omega - \omega_\theta)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_\theta) (\omega - \omega_\theta) \omega_\theta (1 - 2\cos(\omega_\theta)) + d^2 \sin^2(\omega_\theta) (\omega_\theta)^2 (1 - 2\cos(\omega_\theta))^2} \quad (14)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 (\omega_\theta)^2 + \frac{T_0^2}{4\pi^2} (\omega - \omega_\theta)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_\theta) (\omega_\theta)^2 (1 - 2\cos(\omega_\theta)) + d^2 \sin^2(\omega_\theta) (\omega_\theta)^2 (1 - 2\cos(\omega_\theta))^2} \quad (15)$$

Based on the formula (15), the graphics of changing the motion speed of the given bulk material volume in time related to the casing in medium speed mode of conveyor (fig. 4) are developed:

На основі формули (15) будовані графіки зміни швидкості руху виділеного об'єму сипкого матеріалу відносно кожуха у середньошвидкісному режимі конвеєра в часі (рис. 4)

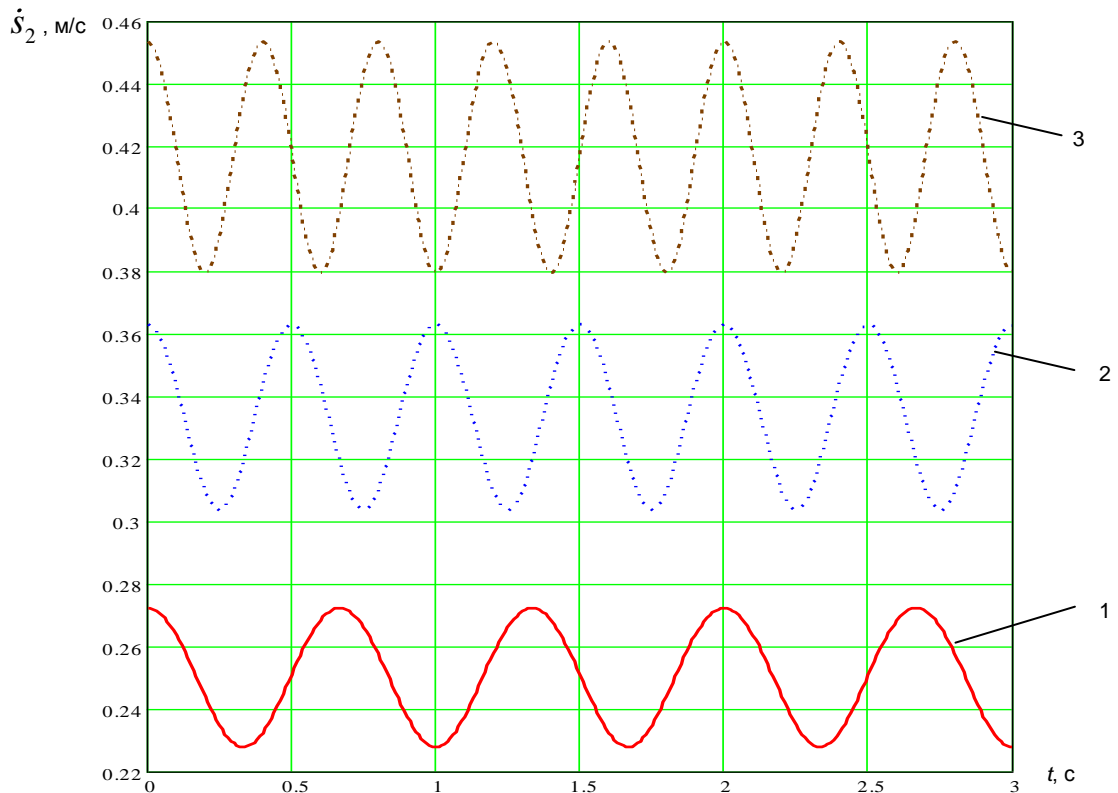


Fig. 4. - Graphics of changing the motion speed of the given bulk material volume in time related to the casing in medium speed mode of conveyor R=0,055m, T0=0,11m: 1 - n=90rpm; 2 - n=120rpm; 3 - n=150rpm

Acceleration of the given bulk material volume is determined by equations:

Прискорення виділеного об'єму сипкого матеріалу визначаємо за рівняннями:

$$\begin{cases} \ddot{x} = R\omega_g \cos(\omega_g t)(\omega - \omega_g); \\ \ddot{y} = R\omega_g \sin(\omega_g t)(\omega - \omega_g); \\ \ddot{z} = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Based on the graphics in Fig. 4 we conclude that the speeds of bulk material transportation periodically change when the screw conveyor in medium speed mode are used. This fact intensifies the process of mixing.

CONCLUSIONS

1. The engineering technique of determining the nature of loading on the elements in medium speed mode of screw conveyor, on the casing and the screw working body in particular is developed. The speeds of bulk material transportation periodically change when the augers with axis motion are used. This fact improves the process of mixing the bulk materials.
2. The analytical dependences to determine the parameters during transportation of the given bulk material are developed. These dependences can be widely used in designing the screw transport and technological systems.

REFERENCES

- [1]. Aleksandrov M. P., (1974) – *Lifting and transport machines/ Mechanical engineering*, – 503 pg., Moscow;
- [2]. Grigoryev A.M., (1972) – *Screw conveyers. Mechanical engineering* – 286 pg., Moscow;
- [3]. Hewko I. (2011) – *Model of loading on the screw working bodies*, Bulletin TNTU. –V. 16, № 1. – P. 69-77., Ternopil;
- [4]. Hewko B. M. (1989) – *Screw falling mechanisms of agricultural machinery*, Higher school,– 176 pg., Lviv.
- [5]. Rohatynskiy R. M. (1997) – *Mechanical and technological backgrounds of interaction of screw working bodies with agricultural raw materials: the thesis of Doctor of Sciences (Engineering) 05.20.01, 05.05.05 / Rohatynskiy Roman Mykhailovych*. – 502pg., Kyiv;
- [6]. Rohatynskiy P.M., Hewko I.B., Diachun A.Y., (2014) - *Scientific and applied backgrounds of creating the screw transport and technological mechanisms* –TNTU– pg.278, Ternopil.
- [7]. Volkov R .A., Gnutov A. N., Diachkov V. K. et al - (1984), *Conveyors: Guide – under the editionship of Y.A. Perten*. – Mechanical engineering,– 367 pg., Leningrad.
- [8]. *** All Union State Standards, (1980) - *Screw conveyors for feedstuff. Main parameters*– AUSS 23976 – 80 – М.: Standards publisher 19 pg. - (National standards of Ukraine);
- [9]. *** All Union State Standards Augers for agricultural machinery (1973) – AUSS 2705 - 73. – Standards publisher 16pg. - (National standards of Ukraine).

На основі графіків рис. 4 можна зробити висновки, що при застосуванні гвинтових конвеєрів на середньошвидкісних режимах відбувається періодична зміна швидкості переміщення сипкого матеріалу, що сприяє інтенсифікації процесу змішування.

ВИСНОВОК

1. Розроблено інженерну методику встановлення характеру навантаження на елементи на середньошвидкісному режимі гвинтовому конвеєрі: на кожух та на гвинтовий робочий орган. Встановлено, що при застосуванні шнеків з осьовим рухом відбувається коливання швидкості транспортування, що покращує умови змішування сипких матеріалів.
2. Виведено аналітичні залежності для визначення параметрів під час переміщення виділеного об'єму сипкого матеріалу, що можна широко використовувати при проектуванні гвинтових транспортно-технологічних систем.

БІБЛІОГРАФІЯ

- [1]. Александров М. П., (1974) – *Подъемно-транспортные машины*. Машиностроение,– 503 с., Москва;
- [2]. Григорьев А. М. (1972) – *Винтовые конвейеры*. Машиностроение, – 184 с., Москва;
- [3]. Гевко І. (2011) – *Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи*. Вісник ТНТУ– Т. 16, № 1. – С. 69-77., Тернопіль;
- [4]. Гевко Б.М., Рогатинський Р.М. (1989) - *Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин*. Выща школа, – 175 с., Львов;
- [5]. Рогатинський Р. М. (1997) – *Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва : дис. докт. техн. наук : 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович*. – 502с., Київ.;
- [6]. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. (2014) *Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів* –ТНТУ імені Івана Пулюя,– 278 с., Тернопіль;
- [7]. Волков Р .А., Гнутов А. Н., Дьячков В .К. и др. - (1984); *Конвейеры: Справочник–под общ. ред. Ю.А. Пертена*. Машиностроение,– 367 с., Ленинград.
- [8]. ГОСТ *Конвейеры винтовые для кормов*, (1980) – ГОСТ 23976-80 – М.: Изд-во стандартов 19 с. - (Національні стандарти України);
- [9]. ГОСТ *Шнеки для сельскохозяйственных машин* (1973) – ГОСТ 2705 - 73. Изд-во стандартов 16с. - (Національні стандарти України).