

MODELLING OF THE VERTICAL SCREW CONVEYER LOADING

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Lect. Ph.D. Eng. Lyashuk O.L., Lect. Ph.D. Eng. Rogatynsky O.R., Serilko D.L.
 Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine
 E-mail: Oleg-lashyk@rambler.ru

Abstract: A mathematical model of the vertical screw conveyer loading has been proposed. Algorithm of solution of the differential equations with partial derivatives of the bulk-cargo medium movement in the screw channel has been developed. Taking advantage of the proposed model it makes possible to develop new designs of the screw conveyer intake devices and to interpret their efficient parameters.

Key words: mathematical model, screw conveyers, intake device, bulk-cargo

INTRODUCTION

Nowadays screw conveyers are the major means of continuous transportation of agricultural bulk-cargo materials. A great number of screw carriers are used now for transporting of grain beside the screws, which are parts of complex agricultural machines [2,4,5,9]. They are of extremely simple design and are characterized by their small size and reliability in operation. But their disadvantage is that of decrease of efficiency under high frequency of the screw rotation caused by the increase of the centrifugal forces in the loading area, which results in the increase of the transporting process power-consumption by these devices.

Despite of great number of papers dealing with the studying of transporting materials by the screw mechanisms, there are only experimental investigations of different ways of loading, basing on which the recommendations on the choice of the loading devices are presented [1,6,7].

The objective of the work is to develop the mathematical model of the vertical screw conveyer loading, which can be used to obtain the picture of the stresses and speeds distribution in the screw channel and, consequently, the dependence of the screw conveyer efficiency on its geometric parameters, rate of angular motion, as well as physical-mechanical properties of the bulk-cargo.

MATERIAL AND METHOD

Screw conveyer, which is in the tank loaded with bulk-cargo, with given physical-mechanical properties is presented in Fig. 1.

To investigate the movement of bulk-cargo in the screw channel generally, the screw coordinates system, which is connected with the screw rigidly, is used.

But, to obtain even approximate solution of the movement equation in this system is difficult enough. That is why in order to simplify the given task, cylinder coordinates system is used instead of the screw one.

Резюме: Запропонована математична модель процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра. Розроблений алгоритм розв'язку диференціальних рівнянь з частинними похідними руху сипкого середовища в гвинтовому каналі. Використання запропонованої моделі дає можливість розробляти нові конструкції забірних пристроїв гвинтових конвеєрів з обґрунтуванням їх раціональних параметрів.

Ключові слова: математична модель, гвинтовий конвеєр, забірний пристрій, сипкий матеріал

ПЕРЕДМОВА

Гвинтові конвеєри в даний час є основними засобами безперервного переміщення сипких сільськогосподарських матеріалів. В світі використовується значна кількість шнекових транспортерів для транспортування зерна, не рахуючи шнеків, які є частинами складних сільськогосподарських машин [2,4,5,9]. Вони мають гранично просту конструкцію, відрізняються компактністю і надійні в експлуатації. Разом з тим, суттєвим недоліком гвинтових механізмів є зниження їх продуктивності при великих частотах обертання гвинта внаслідок збільшення відцентрових сил в зоні завантаження, що приводить до зростання енергоємності процесу транспортування даними пристроями.

Не дивлячись на значну кількість робіт, присвячених вивченню транспортування матеріалів шнековими механізмами, в даний час існують тільки експериментальні дослідження різних способів завантаження, виходячи з яких даються рекомендації по вибору завантажувальних пристроїв [1,6,7].

Метою роботи є розробка математичної моделі процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра, яку можна використати для отримання картин розподілу напружень і швидкостей в гвинтовому каналі шнека, а отже і залежності продуктивності гвинтового конвеєра від його геометричних параметрів, кутової швидкості, а також фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері заповненому сипким матеріалом із заданими фізико-механічними властивостями (Рис.1).

Для дослідження руху сипкого матеріалу у гвинтовому каналі шнека в загальному випадку використовують гвинтову систему координат, яка жорстко зв'язана із шнеком.

Але отримати навіть наближений розв'язок рівняння руху в цій системі досить складно. Тому з метою спрощення поставленої задачі замість гвинтової, використовують циліндричну систему координат.

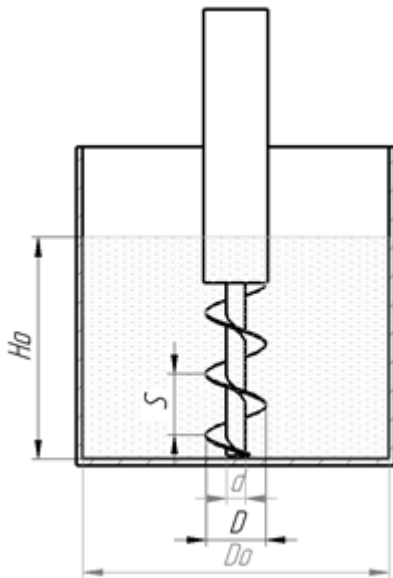


Fig.1 - Tank with screw conveyor

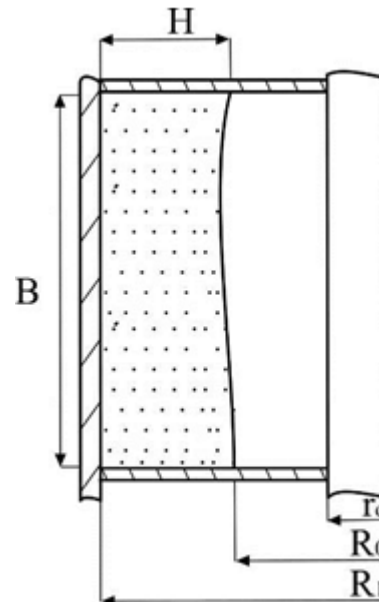


Fig.2 - Cross-section of the high-speed vertical screw conveyor screw channel

As we are analyzing high-speed vertical screw conveyor, the cross-section of the screw channel can be presented as in Fig.2, that is, bulk-cargo under the action of centrifugal forces moves in the channel of width $H = R_1 - R_0$ [8].

Here R_1 – screw radius, r_0 – screw shaft radius.

In this case the coefficient of loading will equal:

$$K_s = \frac{R_1^2 - R_0^2}{R_1^2 - r_0^2} \tag{1}$$

Hence $R_0 = \sqrt{R_1^2 - K_s(R_1^2 - r_0^2)}$.

If we assume, that coefficient of loading is $K_s = 0,8$, $r_0 = 0,3R_1$, we will obtain $R_0 \approx 0,5R_1$

Thus, further we will analyze the movement of the bulk-cargo in the “conventional” screw channel, the shaft radius of which equals R_0

Here friction force between the bulk-cargo and screw shaft is usually not available, as well as the shaft pressure on the screw surface.

As $H/B \ll 1$, $H = R_1 - R_0$, $B \approx 2R_1$, we can study the plane model of the bulk-cargo medium movement in the screw channel (Fig.3). In this case taking into account the fact, that bulk-cargo movement is of the layer-type, let us assume that $V_z = 0$, $\partial V_\varphi / \partial z = 0$.

The equation of movement will look like:

$$\rho \left(V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi^2}{r} \right) = \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} + \rho F_r \tag{2}$$

$$\rho \left(V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r V_\varphi}{r} \right) = \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} + \rho F_\varphi \tag{3}$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0 \tag{4}$$

Оскільки ми розглядаємо швидкохідний вертикальний гвинтовий конвеєр, то переріз гвинтового каналу можна подати у вигляді (фіг 2), тобто сипкий матеріал під дією відцентрових сил рухається в каналі шириною $H = R_1 - R_0$ [8].

Де R_1 - радіус гвинта, r_0 - радіус вала гвинта.

В цьому випадку коефіцієнт заповнення буде рівний:

Звідки $R_0 = \sqrt{R_1^2 - K_s(R_1^2 - r_0^2)}$.

Якщо прийняти, що коефіцієнт заповнення $K_s = 0,8$, $r_0 = 0,3R_1$ то будемо мати $R_0 \approx 0,5R_1$.

Отже надалі будемо розглядати рух матеріалу в “умовному” каналі гвинта, радіус вала якого рівний R_0 .

При цьому звичайно відсутня сила тертя між матеріалом і валом шнека, а також тиск вала на поверхню шнека.

Оскільки $H/B \ll 1$, $H = R_1 - R_0$, $B \approx 2R_1$, то можна розглянути плоску модель руху сипкого середовища в гвинтовому каналі (фіг 3). В цьому випадку з врахуванням того, що рух матеріалу має характер шарів, приймемо що $V_z = 0$, $\partial V_\varphi / \partial z = 0$.

Рівняння руху матимуть вигляд:

where V_r, V_φ – particle speed vector projection relatively on the radius-vector direction and on the perpendicular to it direction; F_φ, F_r – mass force projections on the same directions; $\sigma_r, \sigma_\varphi, \tau_{r\varphi}$ – components of the tensor stresses in the polar coordinates.

Equations 2, 3 are the equations of the total medium movement written as Eulerian variables, and equation 4 – continuity equation in the polar coordinates. Unlike the elastic medium, let us assume the rule of signs for stresses, according to which in the area the outside normal of which coincides with the positive direction of the coordinate axis, positive stress components have directions opposite to those of corresponding coordinate axes.

According to the investigations [6], the speed V_r^0 with which the bulk-cargo moves into the screw channel of the intake area of the screw, decreases from the maximum value to zero according to the linear law:

де V_r, V_φ - проєкції вектора швидкості частинки відповідно на напрямок радіус-вектора та на перпендикулярний до нього напрямок; F_φ, F_r - проєкції масових сил на тіж напрямки; $\sigma_r, \sigma_\varphi, \tau_{r\varphi}$ - компоненти тензора напружень в полярних координатах.

Рівняння 2, 3 є рівняннями руху суцільного середовища записаних у змінних Ейлера, а рівняння 4 – рівняння неперервності в полярних координатах. На відміну від пластичного середовища приймаємо правило знаків для напружень, згідно якого на площадці, зовнішня нормаль до якої співпадає з додатнім напрямком координатної осі, додатні компоненти напружень мають напрямки, протилежні напрямкам відповідних координатних осей.

Згідно досліджень [6], швидкість V_r^0 з якою сипкий матеріал поступає в гвинтовий канал забірної частини шнека зменшується від максимального значення до нуля по лінійному закону:

$$V_r^0 = 2V_c \left(1 - \frac{R_1}{L_0} \varphi\right) = 2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) \quad (5)$$

where V_c – average speed, with which the bulk-cargo moves from the tank to the screw channel.

де V_c – середня швидкість, з якою матеріал поступає з бункера у гвинтовий канал.

$$V_c = \frac{Q}{L_0 B}; \quad (6)$$

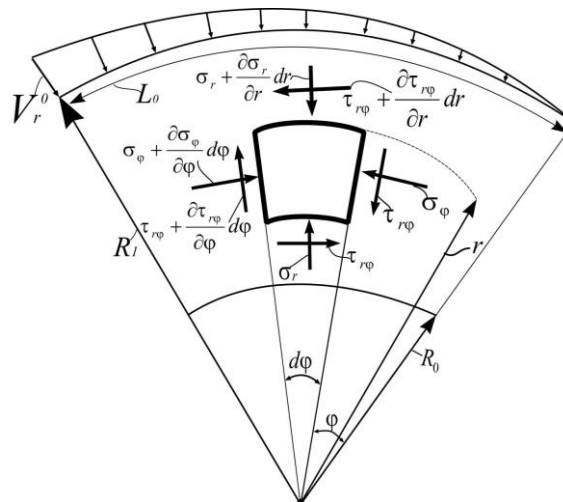


Fig. 3 - Plane model of the bulk-cargo movement in the screw channel

where Q – volumetric efficiency of the screw conveyer M^3/C . B – screw channel width $B=S \cdot \cos \alpha$; S – screw helix; α – screw line angle of elevation; L_0 – screw channel length in the intake area $\varphi_1 = L_0/R_1$

As in our case the channel height is greater enough than its length, we can assume, that radial speed decreases from the maximum value V_z^0 to zero along the radius according to the linear law:

де Q –об’ємна продуктивність гвинтового конвеєра M^3/C . B – ширина гвинтового каналу $B=S \cdot \cos \alpha$; S – крок гвинта; α – кут підйому гвинтової лінії; L_0 - довжина гвинтового каналу в забірній частині $\varphi_1 = L_0/R_1$.

Оскільки, в нашому випадку висота каналу набагато більша його довжини, то можна прийняти, що радіальна швидкість зменшується від максимального значення V_z^0 до нуля вздовж радіуса по лінійному закону:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} = C, \quad (7)$$

hence

звідки:

$$V_r = C(\varphi)r + C_0 \quad (8)$$

where $C = C(\varphi)$ – some function dependent on the coordinate φ (Fig. 3).

де $C = C(\varphi)$ – деяка функція, яка залежить від координати φ (рис. 3).

Let us write the boundary conditions:

Запишемо граничні умови:

$$\left. \begin{aligned} V_{r/R_0} &= 0 \\ V_{r/R_1} &= -V_r^0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Then from the equation (8), taking into account (9), we will obtain:

Тоді з рівняння (8), з врахуванням (9) отримаємо:

$$C(\varphi) = \frac{V_r^0}{R_1 - R_0}, \quad (10)$$

$$C_0(\varphi) = \frac{V_r^0}{R_1 - R_0} \cdot R_0, \quad (11)$$

$$V_r = \frac{V_r^0(r - R_0)}{R_0 - R_1} = \frac{2V_c(r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right). \quad (12)$$

From the continuity equation (4) we will obtain:

З рівняння неперервності (4) отримаємо:

$$C(\varphi) + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0 \quad (13)$$

or

або

$$\frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = V_r + C(\varphi) = \frac{2V_c(r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right) + r 2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right) = 2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right) \cdot \left(\frac{r - R_0}{R_0 - R_1} + r \right) \quad (14)$$

Having integrated this equation we will have

Інтегруючи це рівняння будемо мати:

$$V_\varphi = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi - \frac{\varphi^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r), \quad (15)$$

where $\psi(r)$ – some function from r .

де $\psi(r)$ – деяка функція від r .

Then to find $\psi(r)$ let us assume, that relative rates of angular motion of the part of the bulk-cargo in the screw channel of the transporting area of the screw are distributed according to the law [3].

Для визначення $\psi(r)$ приймаємо, що відносні кутові швидкості частинки матеріалу в гвинтовому каналі транспортуючої частини шнека розподіляються по закону [3].

$$\omega = \omega_0 - \frac{CR_0}{r^2}, \quad (16)$$

where ω_0 – screw rate of angular motion, C – some constant, which depends on the physical-mechanical properties of the bulk-cargo and the screw parameters.

де ω_0 – кутова швидкість гвинта; C – деяка константа, яка залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, та параметрів гвинта.

Then the volumetric efficiency of the screw conveyer will equal:

Тоді об'ємна продуктивність гвинтового конвеєра буде рівна:

$$Q = B \times \int_{R_0}^{R_1} \frac{\omega r dr}{\cos \alpha_c} = \frac{B}{\cos \alpha_c} \left[0.5 \omega_0 (R_1^2 - R_0^2) - CR_0 \ln \frac{R_1}{R_0} \right] \quad (17)$$

where $B = S \cos \alpha_c$; taking into account that:

де $B = S \cos \alpha_c$; враховуючи, що:

$$Q = \frac{\pi[D_1^2 - D_0^2]}{4} \cdot n \cdot S \cdot K_n = \pi(R_1^2 - R_0^2)B \times n \cdot S \cdot K_n, \quad (18)$$

where $n = \omega/2\pi$ – frequency of revolving (rev/sec); K_i – screw conveyer efficiency coefficient.

де $n = \omega/2\pi$ – частота обертання об/с; K_i – коефіцієнт продуктивності гвинтового конвеєра.

$$C = \frac{\omega_0(R_1^2 - R_0^2)}{2R_0 \ln \frac{R_1}{R_0}} (1 - K_i) \quad (19)$$

Taking into account that at $\varphi = \varphi_1$ $V_\varphi = (\omega_0 - CR_0/r^2)r$, let us find function $\psi = \psi(r)$:

Враховуючи що при $\varphi = \varphi_1$, $V_\varphi = (\omega_0 - CR_0/r^2)r$ визначимо функцію $\psi = \psi(r)$:

$$V_{\varphi=\varphi_1} = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi_1 - \frac{\varphi_1^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r) = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\frac{2\varphi_1 - \varphi_1^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r) = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \frac{\varphi_1}{2} + \psi(r), \quad (20)$$

$$\psi_r = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r - V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1, \quad (21)$$

$$V_\varphi = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi_1 - \frac{\varphi_1^2}{2\varphi_1} \right) - V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1 + \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r - \frac{V_c}{\varphi_1} \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) (\varphi_1 - \varphi)^2. \quad (22)$$

As we are analyzing non-ramming screw, in the end of the intake area we can assume: at $\varphi_1 = \varphi$ $\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} = 0$ $V_\varphi = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \cdot R_1$ $V_{r/\varphi=\varphi_1} = 0$. Besides let us assume that $\sigma_\varphi = k\sigma_r$, where k – lateral pressure coefficient. From the equation (12) we will obtain:

Оскільки ми розглядаємо безнапірний шнек, то в кінці забірної частини можна прийняти: при $\varphi_1 = \varphi$, $\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} = 0$ $V_\varphi = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \cdot R_1$ $V_{r/\varphi=\varphi_1} = 0$. Також приймемо, що $\sigma_\varphi = k\sigma_r$, де k – коефіцієнт бокового тиску. З рівняння (12) отримуємо:

$$\frac{\partial V_r}{\partial \varphi} = \frac{2V_0(R_0 - r)}{(R_0 - R_1)\varphi_1}, \quad (23)$$

or

або

$$V_\varphi \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \cdot \frac{2V_0(R_0 - r)}{(R_0 - R_1)\varphi_1}. \quad (24)$$

Then the equation (2) will look like:

Тоді рівняння (2) матиме вигляд:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\sigma}{r} = \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right)^2 r - \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \frac{2V_c(R_1 - R_0)}{(R_1 - R_0)\varphi_1}. \quad (25)$$

where $\sigma = \sigma_r - \sigma_\varphi$

де $\sigma = \sigma_r - \sigma_\varphi$.

Let us find general solution of the equation (25) without the right part:

Знайдемо загальний розв'язок рівняння (25) без правої частини:

$$\frac{d\sigma}{dr} + \frac{\sigma}{r} = 0, \quad (26)$$

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = -\frac{dr}{r}, \quad (27)$$

$$\ln \sigma = -\ln r + \ln C, \quad (28)$$

$$\ln \sigma = \ln \frac{C}{r}, \quad \sigma = \frac{C}{r}. \quad (29)$$

Let us change the integration constant C by the unknown function $u = u(r)$ and we will obtain

Замінімо сталу інтегрування C невідомою функцією. $u = u(r)$ і будемо мати:

$$\sigma = \frac{u}{r}. \quad (30)$$

then

тоді

$$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{d}{dr}(u \cdot r^{-1}) = \frac{du}{dr} \cdot r^{-1} + u(-r^{-2}) = \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2}, \quad (31)$$

Let us substitute (29) in (25).

Підставимо (29) в (25).

$$\frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} + \frac{u}{r^2} = \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right)^2 r - \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \frac{2V_c(r-R_0)}{(R_1-R_0)\varphi_1}, \quad (32)$$

$$\frac{du}{dr} = \rho \left[\left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right)^2 r^2 - \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) \cdot A(r-R_0) \right]. \quad (33)$$

where $B = CR_0$, $A = \frac{2V_c}{(R_1-R_0)\varphi_1}$.де $B = CR_0$, $A = \frac{2V_c}{(R_1-R_0)\varphi_1}$.

Let us devide variables and integrate

Розділимо змінні і проінтегруємо

$$\int du = \rho \int \left[\left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right)^2 r - \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) \cdot A(r-R_0) \right] dr, \quad (34)$$

$$u = \rho \left[\int \left(\omega_0^2 - \frac{2B}{r^2} + \frac{B^2}{r^4} \right) r^2 dr - A \int \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) r^2 dr + A \int \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) r R_0 dr \right] + C_1 =$$

$$= \rho \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) r^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 r^2}{2} + Br(A-2\omega_0) + \frac{B^2}{r} - AR_0 B \ln r \right] + C_1, \quad (35)$$

$$\sigma = \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) r^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 r^2}{2} + Br(A-2\omega_0) + \frac{B^2}{r} - AR_0 B \ln r \right] + \frac{C_1}{r}. \quad (36)$$

Integration constant C_1 can be found from the condition: $\sigma_{r=R_0} = 0$ Сталу інтегрування C_1 визначаємо з умови: $\sigma_{r=R_0} = 0$

$$C_1 = -\rho \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) R_0^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 R_0^2}{2} + BR_0(A-2\omega_0) + \frac{B^2}{R_0} - AR_0 B \ln R_0 \right]. \quad (37)$$

Finally we will obtain:

Остаточно отримаємо:

$$\sigma = \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) r^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 r^2}{2} + Br(A-2\omega_0) + \frac{B^2}{r} - AR_0 B \ln r \right] -$$

$$- \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) R_0^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 R_0^2}{2} + BR_0(A-2\omega_0) + \frac{B^2}{R_0} - AR_0 B \ln R_0 \right] \quad (38)$$

RESULTS AND DISCUSSIONS

In Fig. 4 (a and b) diagrams of speeds distribution of the bulk-cargo parts in the transporting area of the screw channel with the following parameters are presented: screw diameter $D=0.1$ m, screw shaft diameter $d=0.05$ m at different efficiency coefficients $K_{II} = 0,7$ (Fig.4a)

$K_{II} = 0,8$ (Fig.4b).

РЕЗУЛЬТАТИ

На фіг. 4 (а і б) наведені епюри розподілу швидкостей частинок матеріалу в транспортуючій частині гвинтового каналу шнека з параметрами: діаметр гвинта $D=0,1$ м, діаметр вала гвинта $d=0,05$ м, при різних коефіцієнтах продуктивності $K_{II} = 0,7$ (фіг. 4а), $K_{II} = 0,8$ (фіг. 4б).

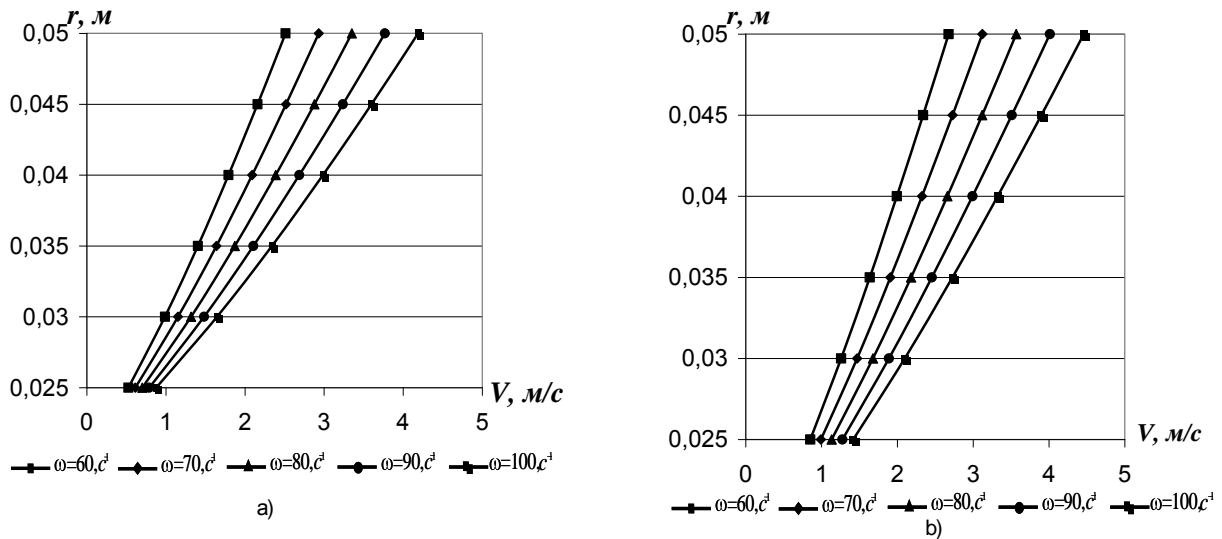


Fig. 4- Diagrams of the speeds distribution of bulk-cargo parts in the transporting area of the screw channel at a) - $K_{II} = 0,7$; b)- $K_{II} = 0,8$

In Fig. 5 dependences of stresses σ_r in the end of the intake area of screw channel on the rate of the angular motion of the screw for different values of the efficiency coefficient K_{II} are presented. The necessary value σ_r is likely to be equal to the lateral pressure of the bulk-cargo in the tank, which can be found analytically [10]. From the presented diagrams it is clear that in order to provide stable operation of the vertical screw conveyor it is necessary to provide sufficient pressure, which can be provided by increasing the tank sizes or using the forced feeding of the bulk-cargo in the intake area. Dependence of the efficiency coefficient k , on the screw rate of angular motion K_{II} is presented in Fig.6 at $\sigma_r = 2000 Pa$, which corresponds to the gravitation loading of the screw conveyor. As the efficiency of the high-speed screw conveyor is decreased with the increase of the screw rotation frequency, to provide the desired efficiency of this transporting means it is necessary to take advantage of special intake devices.

На фіг. 5. наведені залежності напружень σ_r в кінці забірної частини гвинтового каналу від кутової швидкості гвинта для різних значень коефіцієнта продуктивності K_{II} . Очевидно, що необхідна величина σ_r дорівнює боковому тиску сипкого матеріалу в бункері, який можна визначити аналітичним шляхом [10]. З наведених графіків видно, що для стабільної роботи вертикального гвинтового конвеєра необхідно створити значний тиск, який можна досягти збільшенням розмірів бункера, або застосовуючи примусову подачу сипкого матеріалу в забірну частину. Залежність коефіцієнту продуктивності K_{II} від кутової швидкості гвинта ω наведена на фіг. 6 при $\sigma_r = 2000 Pa$, що відповідає гравітаційному завантаженню шнекового транс-портера. Оскільки продуктивність швидкохідного гвинтового конвеєра зменшується із збільшенням частоти обертання гвинта, то для забезпечення необхідної продуктивності цього транспортного засобу необхідно використовувати спеціальні забірні пристрої.

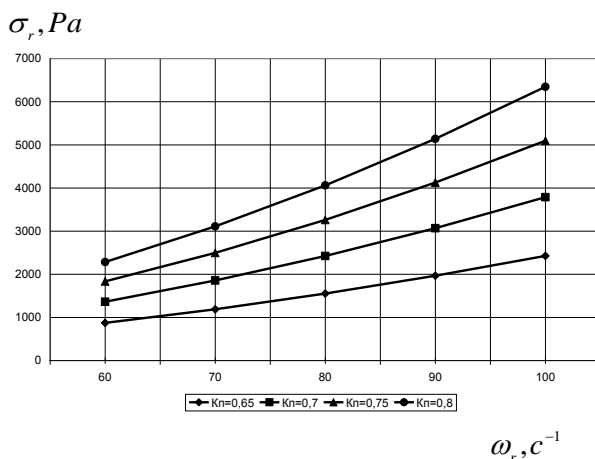


Fig. 5 - Dependence of stresses σ_r in the end of intake area of the screw channel on the screw rate of angular motion

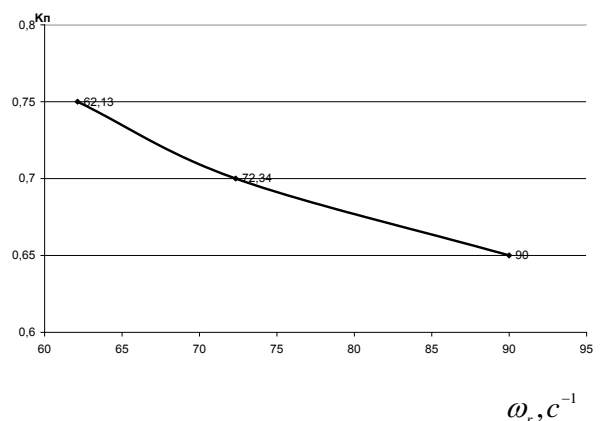


Fig. 6 - Dependence of efficiency coefficient of the screw conveyor K_{II} , on the screw rate of angular motion

CONCLUSIONS

Taking advantage of the obtained solution algorithm of differential equations, which describe the movement of bulk-cargo medium under certain boundary conditions, the picture of distribution speeds and stresses in the screw channel can be obtained. Achieving the proposed model makes possible to develop new designs of intake devices of screw conveyers and to interpret their efficient parameters.

REFERENCES

- [1]. Adigamov K.A., Baibara S.N., Chernenko G.V. (2009) - *Critical frequency of the vertical screw rotation*. Digest of the East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dal. – №2 (132), pg. 9-10;
- [2]. Gevko B.M., Rogatynsky R.M. (1989) – *Screw feeding mechanisms of agricultural machines*. Higher school, pg.175., Lvov;
- [3]. Generalov M.B. (1988) - *Movement of the bulk-cargo in the tank screw feeder*. Theoretical foundations of the chemical engineering. Vol. 22, №1, pg. 78-81;
- [4]. Grigoryev A.M. (1972) – *Screw conveyers*. Mechanical engineering, pg. 286, Moscow;
- [5]. Izrailevitch M.L. (2002) - *From the clamshell to conveyer: port trans-shipment complexes for bulk-cargo* Izrailevitch M.L. / PTO №2, pg. 9-10;
- [6]. Fernandez J.W, Cleary P.W., McBride W., (2009), *Effect of screw design on hopper draw down to a horizontal screw feeder*, Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia 9-11 Decem;
- [7]. Murashov M.V., Scherbakov A.S. (1978) - *The effect of the screw conveyer intake part design on its efficiency*, Peat extraction industry. №7. pg. 17-19;
- [8]. Nilsson L.G. (1971) - *On the vertical serew conveyor for non- cohesive bulk materials*. Acta polytechnica Scandinavica. 4 Stokholm, pg. 96;
- [9]. Rogatynsky R.M., Gevko B.M., Dyachun A.Y. (2014), *Scientific-applied foundations of creation of screw transporting-technological mechanisms*, TNTU named after Ivan Pul'uj.– 278 pg., Ternopil;
- [10]. Serilko D.L. (2010) - *Determination of the bulk-cargo pressure in the screw conveyer intake part*, Digest of the Ternopil Ivan Pul'uj Technical University – pg. 97-102.

ВИСНОВОК

Використовуючи отриманий алгоритм розв'язку диференціальних рівнянь, які описують рух сипкого середовища, при відповідних граничних умовах можна отримати картину розподілу швидкостей та напружень у гвинтовому каналі шнека. Реалізація запропонованої моделі дає можливість розробляти нові конструкції забірних пристроїв гвинтових конвеєрів з обґрунтуванням їх раціональних параметрів

БІБЛІОГРАФІЯ

- [1]. Адигамо́в К.А., Байбара С.Н., Черненко Г.В. (2009) - *Критическая частота вращения вертикального шнека*. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №2 (132) –С. 9-10;
- [2]. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. (1989) - *Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин*. Выща школа, – 175 с., Львов;
- [3]. Генералов М.Б. (1988) *Движение сыпучего материала в шнековом питателе бункера*. Теор. осн. хим. технол. Т 22, №1, С. 78-81;
- [4]. Григорьев А.М. (1972) - *Винтовые конвееры*. Машиностроение., - 286 с., Москва;
- [5]. Израйлевич М. Л. (2002) - *От грейфера к конвейеру: портовые перегрузочные комплексы для навалочных грузов / Израйлевич М. Л // ПТО №2. - С. 9-10;*
- [6]. Фернандес J.W, Клірі Р.W, McBride W. (2009), *Вплив гвинтової конструкції на бункер витяжки світанку горизонтальній шнекового живильника*, Сьома Міжнародна Конференція по ЦФО в мінералах і переробній промисловості CSIRO, Мельбурн, Австралія 9-11 груд;
- [7]. Мурашов М. В., Щербаков А. С. (1978) - *Влияние конструкции заборной части шнека винтового конвейера на его производительность*. Торфяная промышленность. №7. С. 17 – 19;
- [8]. Нильссон L.G. (1971) - *На вертикальній гвинтовий конвеєр для неурядових зв'язкових силучих матеріалів*. Acta політехніка Скандинавія. Він я 4 Стокгольм, - С. 96;
- [9]. 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;
- [10]. Серілко Д. Л. (2010) - *Визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра* Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. –С. 97 – 102.