

УДК 621.867

Р. Рогатинський, докт. техн. наук; Д. Серілко

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Резюме. Запропоновано математичну модель процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра. Розроблено алгоритм чисельного розв'язку диференціальних рівнянь із частинними похідними руху сипкого середовища у гвинтовому каналі. Використання запропонованої моделі дає можливість розробляти нові конструкції забірних пристроїв гвинтових конвеєрів з обґрунтуванням їх раціональних параметрів.

Ключові слова: вертикальний гвинтовий конвеєр, забірні пристрої, завантаження, модель.

R. Rohatynskiy, D. Serilko

MODELING OF THE PROCESS OF POWER LOADING OF VERTICAL HELICAL CONVEYER

The summary. The mathematical model of the process of power loading of vertical helical conveyer is set. The algorithm of numerical solution of the system of differential equations with derivatives of part of loose environment motion in helical channel is developed. The application of the given model it possible to develop new constructions of intake devices of helical conveyers with substantiation of their rational parametr.

Key words: vertical helical conveyer; intake devices; power loading; model.

Умовні позначення:

d – діаметр вала гвинта, м;

D – діаметр гвинта, м;

S – крок гвинта, м;

D_0 – діаметр бункера, м;

ω – кутова швидкість гвинта, s^{-1} ;

B – ширина гвинтового каналу, м;

H – висота гвинтового каналу, м;

L – довжина гвинтового каналу, м;

σ^x, σ^y, τ – компонент тензора напружень, N/m^2 ;

u, v – компоненти вектора швидкості частинок матеріалу у гвинтовому каналі;

ρ – щільність сипкого матеріалу, kg/m^3 ;

φ – кут внутрішнього тертя сипкого матеріалу, рад;

k – коефіцієнт бокового тиску;

f – коефіцієнт тертя;

H_0 – висота засипання матеріалу в бункері, м;

ψ – кут між вектором сили тертя і віссю каналу гвинтового конвеєра;

α – кут підйому гвинтової лінії;

β – кут між векторами переносної й абсолютної швидкостей;

G – сила тяжіння;

ϕ – відцентрова сила інерції;

Q – продуктивність гвинтового конвеєра;

z – відстань від поверхні сипкого матеріалу в бункері.

Постановка проблеми. Гвинтові конвеєри широко використовуються в різних галузях народного господарства для транспортування, ущільнення, змішування сипких матеріалів та реалізації різноманітних технологічних процесів.

Процес завантаження досліджено тільки експериментально, при різних способах завантаження, виходячи з яких дано рекомендації стосовно завантажувальних пристроїв.

Тому аналітичне дослідження процесу завантаження є актуальним і має важливе значення для розрахунку нових конструкцій забірних пристроїв і обґрунтування їх параметрів.

Аналіз результатів досліджень. Дослідженню процесу завантаження гвинтових конвеєрів присвячені роботи Волкова Ю. В. [1], Григор'єва А.М. [2], Щербакова А.С. [3], Юзова П.І. [4], Байбари С.Н. [5].

Але в більшості випадків розглядаються тільки експериментальні дослідження різних способів завантаження, на основі яких даються рекомендації стосовно вибору завантажувальних пристроїв.

Метою роботи є розроблення математичної моделі процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра, яку можна використати для отримання картин розподілу швидкостей і напружень у гвинтовому каналі шнека.

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері, заповненому сипким матеріалом із заданими фізико-механічними властивостями. Висоту засипки матеріалу H_0 будемо вважати постійною величиною.

Розглянемо процес завантаження вертикального гвинтового конвеєра в оберненому русі, тобто будемо вважати, що гвинт нерухомий, а бункер із сипким середовищем обертається в протилежному напрямку від обертання гвинта (рис. 1)

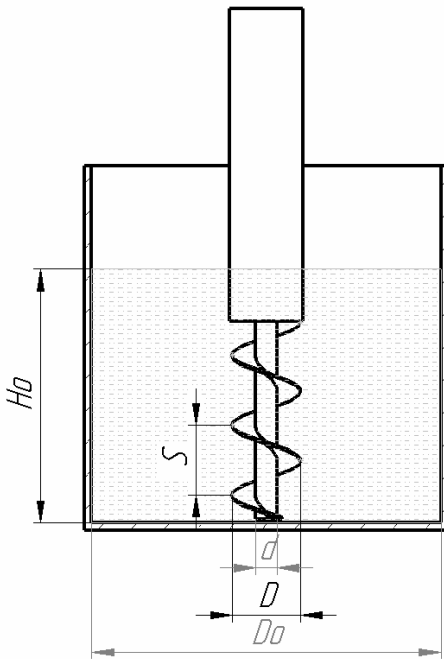


Рис. 1.

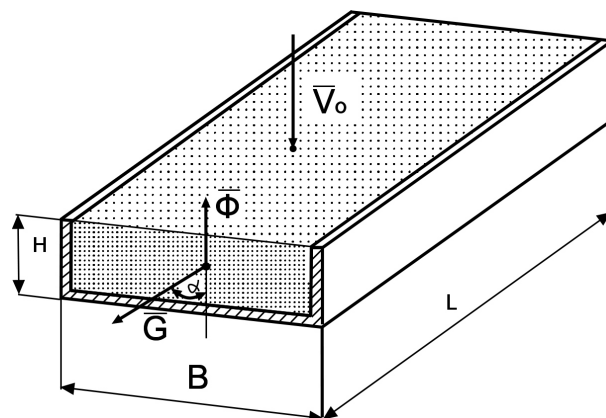


Рис. 2.

Умовно розгорнемо гвинтовий канал у прямокутний, в який надходить сипкий матеріал з початковою радіальною швидкістю \bar{v}_0 (рис. 2).

На частинки матеріалу діють, крім поверхневих сил, і об'ємні сили:

\bar{G} – сила тяжіння і відцентрова сила інерції $\bar{\phi}$, яка виникає в результаті того, що кожна точка у гвинтовому каналі здійснює складний рух, який складається з обертального разом з гвинтом і руху відносно гвинта.

Оскільки $B/H > 1$ (будемо розглядати шнек, в якому $D \approx 2d$), то можна розглянути плоску модель руху сипкого середовища у гвинтовому каналі (рис. 3).

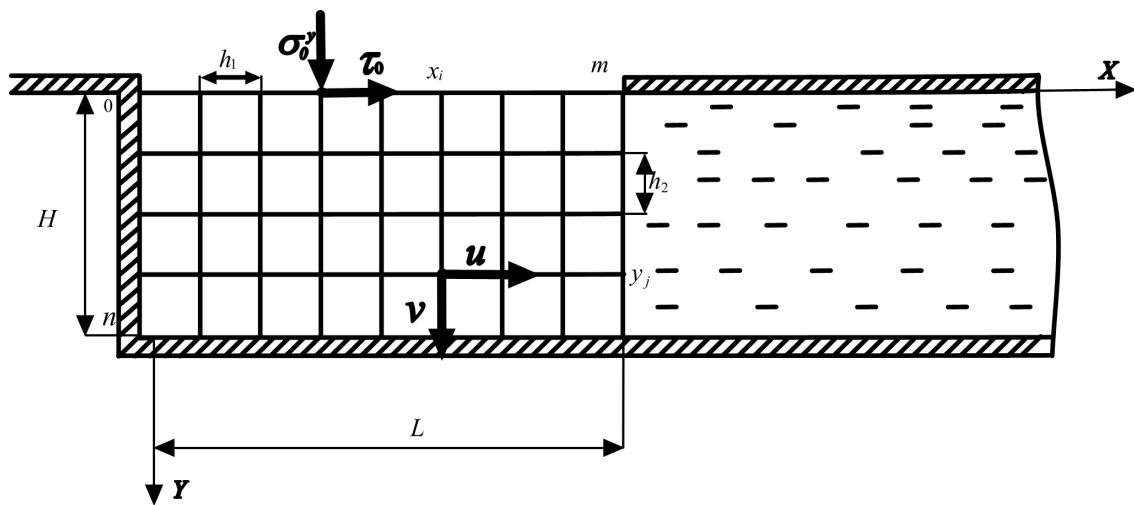


Рис. 3.

Напружено-деформований стан такого середовища можна описати за допомогою таких рівнянь [6]:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = F_x + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} \right); \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = F_y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\sigma_{xy}} = 2 \frac{\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}}; \quad (4)$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_x + \sigma_y)^2. \quad (5)$$

Тут 1,2) – рівняння руху сипкого середовища;

3) – рівняння неперервності;

4) – рівняння співвідношення девіаторів напружень і швидкостей деформації;

5) – рівняння граничного стану.

У нашому випадку

$$F_x = \rho g \sin \alpha; \quad F_y = \rho \frac{(u_0 - u \sin \alpha)^2}{R - y}.$$

Точний розв'язок формул (1-5) пов'язаний зі значними математичними труднощами, тому для розв'язання цих рівнянь застосовують метод скінченних різниць [7].

У зв'язку з цим покриємо область розв'язку даної задачі сіткою з кроками h_1 і h_2 по осях OX та OY відповідно:

$$x_i = i \cdot h_1; \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad h_1 = \frac{L}{n}; \quad y_j = j \cdot h_2; \quad j = 0, 1, \dots, m, \quad h_2 = \frac{H}{m}.$$

Крок по осі OX приймаємо змінним, оскільки довжина гвинтової лінії L_j залежить від відстані до осі обертання R_j

$$R_j = R - y_{i,j}; \quad (6)$$

$$L_j = \sqrt{(2\pi R_j)^2 + S^2}. \quad (7)$$

Замінюючи у формулах (1...5) частинні похідні різницевиими співвідношеннями, побудуємо різницеву схему без урахування квадратичних членів.

$$\frac{\sigma_{j+1,i}^x - \sigma_{i,j}^x}{h_1} + \frac{\tau_{i,j+1} - \tau_{i,j}}{h_2} - \rho g \sin \alpha = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\tau_{i+1,j} - \tau_{i,j}}{h_2} + \frac{\sigma_{j,i+1}^y - \sigma_{i,j}^y}{h_{21}} - \frac{(u_{i,j}^0 - u_{i,j} \sin \alpha)^2}{R - y_{i,j}} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_1} + \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_2} = 0; \quad (10)$$

$$\tau_{i,j} = \frac{1}{2} \sqrt{\sin^2 \varphi (\sigma_{j,i}^x - \sigma_{i,j}^y)^2 - (\sigma_{j,i}^x - \sigma_{i,j}^y)^2}; \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_{i,j}^x - \sigma_{i,j}^y}{\tau_{i,j}} = 2 \left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_1} - \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_2} \right). \quad (12)$$

Розв'язавши отриману систему рівнянь, отримаємо:

$$\tau_{i,j+1} = \tau_{i,j} - \frac{h_2}{h_1} (\sigma_{i+1,j}^x - \sigma_{i,j}^x) + \rho g \sin \alpha \cdot h_2; \quad (13)$$

$$\sigma_{i,j+1}^y = \sigma_{i,j}^y - \frac{h_2}{h_1} (\tau_{i+1,j} - \tau_{i,j}) - \rho \frac{(u_j^0 - u_{i,j} \cos \alpha_j)^2}{R - y_{i,j}} h_2; \quad (14)$$

$$\text{де } u_j^0 = \omega R_j, \quad y_{i,j} = h_2 \cdot j; \quad (15)$$

$$\sigma_{i+1,j}^x = a \pm \sqrt{a^2 - b}, \quad (16)$$

$$\text{де } a = \frac{\sigma_{i,j+1}^y (1 + \sin^2 \varphi)}{\cos^2 \varphi}; \quad (17)$$

$$b = \frac{(\sigma_{i,j+1}^y)^2 \cos^2 \varphi + 4\tau_{i,j+1}^2}{\cos^2 \varphi}, \quad (18)$$

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} - \frac{h_2}{h_1} (v_{i+1,j} - v_{i,j}) + \frac{h_2}{h_1} A (u_{i+1,j} - u_{i,j}), \quad (19)$$

$$\text{де } A = \frac{4\tau_{i,j+1}}{\sigma_{i,j+1}^x - \sigma_{i,j+1}^y}, \quad (20)$$

$$v_{i,j+1} = v_{i,j} - \frac{h_2}{h_1} (u_{i+1,j} - u_{i,j}). \quad (21)$$

Розподіл осевого тиску по висоті циліндричного бункера визначаємо за формулою Янсена [8]

$$\sigma_{z,o} = \frac{\rho g D_0}{4fk} \left[1 - \exp\left(-\frac{4fk}{D} z\right) \right]. \quad (22)$$

Знаючи значення $\sigma_{z,o}$, можна прийняти, що нормальний тиск на поверхню гвинтового каналу $\sigma_{y,o}$ дорівнюватиме

$$\sigma_{y,o} = k \sigma_{z,o}. \quad (23)$$

Відповідно, дотичне напруження на поверхні каналу

$$\tau_0 = f_0 \sigma_{z,0} \cos \psi. \quad (24)$$

Кут ψ визначаємо із векторної діаграми (рис. 4).

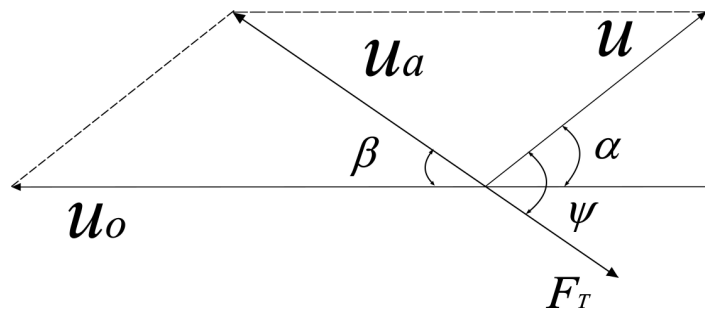


Рис. 4.

$$\psi = \beta + \alpha; \quad (25)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{S}{\sqrt{(\pi D)^2 + S^2}}; \quad (26)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{u \sin \alpha}{u_0 - u \cos \alpha}. \quad (27)$$

Залежності (23,24) можна використати в якості граничних умов при розв'язанні конкретної задачі.

Середнє значення початкової швидкості v_0 можна визначити за формулою

$$V_0 = \frac{Q}{BL_0}. \quad (28)$$

Висновок. Використовуючи отриманий алгоритм чисельного розв'язку диференціальних рівнянь, які описують рух сипкого середовища, при відповідних граничних умовах можна отримати картину розподілу швидкостей і напружень у гвинтовому каналі шнека.

Реалізація запропонованої моделі дає можливість розробляти нові конструкції забірних пристроїв гвинтових конвеєрів з обґрунтуванням їх раціональних параметрів.

Література

1. Волков Ю. В. К исследованию процессов в заборной камере винтового транспортера / Ю. В. Волков // Труды СИСХМ. – Вып. 42. – Ч. I. – Саратов, 1969. – С. 19 – 21.
2. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Щербаков А.С. Исследование влияния конструктивных факторов на производительность быстроходных винтовых конвейеров / А.С. Щербаков, А.С. Левитин // Строительные и дорожные машины. – Ярославль, 1980. – Вып. 4. – С.83–88.
4. Юзов В. И. Исследования процесса загрузки вертикального винтового конвейера для портовых перегрузочных машин / дис. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. / В. И. Юзов. – Л.: ЛИВТ, 1985. – 188 с.
5. Байбара С. Н. Обоснование параметров однозаходного вертикального шнекового конвейера с двухлопастной загрузкой / автореф. дис на соискание уч. ст. канд. тех. наук. / С. Н. Байбара. – Шахты, 2008. – 24 с
6. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды: учебник / А.А. Ильюшин – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.
7. Самарский А. А. Чысленные методы: учеб. пособие для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 439 с.
8. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

Отримано 05.09.2010 р.