

УДК 621.867

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА В ЗАБІРНИЙ ЧАСТИНІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Д.Л. Серілко, асистент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Анотація. Запропоновано математичну модель процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра. Розроблено алгоритм чисельного розв'язку диференціальних рівнянь із частинними похідними руху сипкого середовища у гвинтовому каналі.

Ключові слова: математична модель, гвинтовий конвеєр, забірний пристрій.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ В ЗАБОРНОЙ ЧАСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРА

Д.Л. Серилко, ассистент, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

Аннотация. Предложена математическая модель процесса загрузки вертикального винтового конвейера. Разработан алгоритм численного решения дифференциальных уравнений с частными производными движения сыпучей среды в винтовом канале.

Ключевые слова: математическая модель, винтовой конвейер, заборное устройство.

THE STUDY OF BULK SOLIDS MOTION IN THE FEED HOPPER OF VERTICAL SCREW CONVEYERS

D. Serilko, teaching assistant,
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

Abstract. A mathematical model for feeding vertical screw conveyers has been proposed. An algorithm of numerical solution of the system of differential equations with derivatives for bulk solids motion in the feed screw has been developed.

The key words: mathematical model, screw conveyer, feed hopper.

Вступ

Гвинтові конвеєри широко використовуються в різних галузях народного господарства для транспортування, ущільнення, змішування сипких матеріалів та реалізації різноманітних технологічних процесів. При цьому процес завантаження досліджено тільки експериментально, за різних способів завантаження, виходячи з яких даються рекомендації з вибору завантажувальних пристроїв. Тому аналітичне дослідження процесу завантаження є актуальним і має важливе значення для розрахунку нових конструкцій забірних пристроїв і обґрунтування їх раціональних параметрів.

Аналіз публікацій

Дослідженню процесу завантаження гвинтових конвеєрів присвячено 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 з вибору завантажувальних пристроїв.

Мета роботи

Метою роботи є розробка математичної моделі процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра, яку можна використати

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

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

де (1), (2) – рівняння руху сипкого середовища; 3) – рівняння неперервності; (4) – рівняння співосності девіаторів напружень та швидкостей деформації; (5) – рівняння граничного стану.

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

Для цього покريمо область розв'язку даної задачі сіткою із кроками h_1 і h_2 по осях OX та OY відповідно.

$$x_i = i \cdot h_1; \quad i = 0, 1, \dots, n; \quad h_1 = \frac{L_j}{n};$$

$$y_j = j \cdot h_2; \quad j = 0, 1, \dots, m; \quad h_2 = \frac{H}{m}.$$

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

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

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

Замінюючи у формулах (1–5) частинні похідні різницевиими співвідношеннями, побудуємо різницеву схему

$$\rho \left(u_i \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_1} + v_{i,j} \frac{u_{j,i+1} - u_{i,j}}{h_2} \right) =$$

$$= \rho F_x + \left(\frac{\sigma_{i+1,j}^x - \sigma_{i,j}^x}{h_1} + \frac{\tau_{i,j+1} - \tau_{i,j}}{h_2} \right); \quad (8)$$

$$\rho \left(u_i \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_1} + v_{i,j} \frac{v_{j,i+1} - v_{i,j}}{h_2} \right) =$$

$$= \rho F_y + \left(\frac{\tau_{i+1,j} - \tau_{i,j}}{h_1} + \frac{\sigma_{j,i+1}^y - \sigma_{i,j}^y}{h_2} \right); \quad (9)$$

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

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

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

$$\div \left(\frac{u_{j,i+1} - u_{i,j}}{h_2} + \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_1} \right).$$

$$\text{де} \quad F_x = -g \sin \alpha_j;$$

$$F_y = 2\omega_e u_{i,j} \cos \alpha_j - \omega_e^2 R_j - \frac{(u_{i,j} \cos \alpha_j)^2}{R_j},$$

де ω_e – кутова швидкість гвинта;
 $\alpha_j = \arcsin S/L_j$ – кут підйому гвинтової лінії.

Розв'язавши триману систему рівнянь, будемо мати

$$\tau_{i,j+1} = \tau_{i,j} - \frac{h_2}{h_1} (\sigma_{i+1,j}^x - \sigma_{i,j}^x) - \rho F_x h_2 +$$

$$+ \rho h_2 \left(u_{i,j} \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_1} + v_{i,j} \frac{u_{j,i+1} - u_{i,j}}{h_2} \right); \quad (13)$$

$$\sigma_{i,j+1}^y = \sigma_{i,j}^y - \frac{h_2}{h_1} (\tau_{i+1,j} - \tau_{i,j}) - \rho F_y h_2 +$$

$$+ \rho h_2 \left(u_i \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_1} + v_{i,j} \frac{v_{j,i+1} - v_{i,j}}{h_2} \right); \quad (14)$$

$$\sigma_{i,j+1}^x = a \pm \sqrt{a^2 - b} \quad (15)$$

$$\text{де} \quad a = \frac{\sigma_{i,j+1}^y (1 + \sin^2 \phi)}{\cos^2 \phi}; \quad (16)$$

$$b = \frac{(\sigma_{i,j+1}^y)^2 \cos^2 \phi + 8\tau_{i,j+1}^2}{\cos^2 \phi}; \quad (17)$$

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

$$+ \frac{h_2}{h_1} A (u_{i+1,j} - u_{i,j}); \quad (18)$$

$$\text{де} \quad A = \frac{8\tau_{i,j+1}}{\sigma_{i,j+1}^x - \sigma_{i,j+1}^y}; \quad (19)$$

$$v_{i,j+1} = v_{i,j} - \frac{h_2}{h_1} (u_{i+1,j} - u_{i,j}). \quad (20)$$

Для визначення граничних умов приймемо наступні припущення:

1. Початкова швидкість v лінійно залежить від довжини гвинтового каналу (рис. 2).

$v_{i,0} = v_{0,0} - \Delta v_x i$, $\Delta v_x = 2v_c / n$, $v_c = Q / A_{\Pi}$ – середнє значення швидкості; Q – продуктивність; A_{Π} – площа поверхні гвинтового каналу.

2. Напруження на поверхні каналу приймемо рівним

$$\sigma_{i,0}^y = kP. \quad (21)$$

де k – коефіцієнт бокового тиску; P – осьовий тиск.

$$\tau_{i,0} = f_1 \sigma_{i,0}^y \cos \alpha. \quad (22)$$

де f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Розв'яжемо систему рівнянь (13–20) методом послідовних наближень.

1. Приймемо, що вертикальна складова швидкості v зменшується за висотою каналу від максимального значення до нуля за лінійним законом

$$v_{i,j} = v_{i,0} - \Delta v_y j, \quad \Delta v_y = v_{i,0} / m.$$

2. З рівняння неперервності визначаємо горизонтальну складову швидкості u

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

3. З рівняння неперервності визначаємо горизонтальну складову швидкості u

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

4. Визначаємо з рівнянь (13–15) значення напружень $\tau_{i,j}$, $\sigma_{i,j}^y$, $\sigma_{i,j}^x$ і нові значення $v_{i,j}$, $u_{i,j}$ з рівнянь (18, 20).

5. Процес повторень продовжуємо до тих пір, доки модуль різниці між сусідніми наближеннями залишається більше деякої наперед заданої величини.

6. Збільшуємо величину продуктивності за заданою кутовою швидкістю до тих пір, доки виконується умова $\sigma_{i,j}^y, \sigma_{i,j}^x > 0$.

7. В результаті отримаємо залежність продуктивності гвинтового конвеєра від його геометричних параметрів, кутової швидкості і фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу.

Висновок

Використовуючи отриманий алгоритм чисельного розв'язку диференціальних рівнянь, які описують рух сипкого середовища, за відповідних граничних умов 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.

Література

1. Волков Ю. В. К исследованию процессов в заборной камере винтового транспортера / Ю.В. Волков // Труды СИСХМ. – Саратов. – 1969. – Вып. 42, Ч. I. – 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 быстрходных 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 конвеєра для портовых перегрузочных машин: дис... канд. техн. наук. спец. 05.05.05 / В.И. Юзов. – Л. : ЛИВТ, 1985. – 188 с.
5. Байбара С.Н. Обоснование параметров однозаходного вертикального шнекового конвейера с двухлопастной загрузкой дис... канд. техн. наук. спец. 05.02.13 / С.Н. Байбара. – Шахты, 2008. – 142 с.
6. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды: учебник / А.А. Ильюшин – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.
7. Самарский А.А. Численные методы: учеб. пособие для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука гл. ред. физ-мат. лит., 1989. – 439 с.

Рецензент: І.А. Ємельянова, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2012 р.