

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ІЗ ШНЕКОВИМ КОНВЕЄРОМ ПІД ЧАС ЗМІШУВАННЯ

Рассмотрена алгебро-логическая модель взаимодействия сыпучего материала с поверхностью шнека с использованием однородных функций единичного градиента и выведены геометрические и кинематические связи взаимодействия.

THE MODELING OF LOOSE MATERIALS CONVEYOR INTERACTION DURING MIXING

The algebraic and logical model of interaction of particles of the loose weight with the surface of the screw end-effector is considered. The homogeneous functions of the unit gradient and the geometrical, kinematic dependences are used.

При конструюванні робочих елементів шнекового конвеєра або змішувача виникає потреба у визначенні технічних характеристик транспортної системи при різних режимах роботи машини. Ці показники визначають безпосередньо з моделювання експерименту або за допомогою фізичної моделі.

Подібні задачі вирішувалися для зернозбирального комбайна [1], гравітаційно-роторних машин [2] та ряду інших транспортних та змішувальних систем зі скребковими та лопатевими робочими органами. В даних працях розглядався сипкий вантаж у вигляді окремих порцій між скребками з певною формою та масою. Проте моделювання потоку вантажу, як рух окремих частинок вантажу при їх взаємодії з робочими органами шнекового конвеєра або змішувача, може дати більш детальну картину транспортування, як було розглянуто на скребкових конвеєрах [3].

Метою даної роботи є створення моделі взаємодії сипкого матеріалу з робочими поверхнями шнекового змішувача (рис. 1, а).

Змішувач складається з вертикальної труби-колони 4, яка закріплена за допомогою поворотного механізму 14 до рами змішувача. До труби-колони з можливістю повертання відносно вертикальної осі труби-колони за допомогою фланців 10 прикріплено завантажувальну вітку змішувача, яка складається з кожуха 5, в якому розміщено центральний вал 7, що кріпиться до вала електродвигуна 15 та підшипника, який встановлено в торцевому фланці 9. До центрального валу прикріплено гвинтову спіраль 8. В кожусі 5 виготовлено отвір для подавання компонентів суміші порошкових матеріалів. До нижньої частини труби-колони за допомогою механізму повертання 1 прикріплено розвантажувальну вітку змішувача, яка аналогічно до завантажувальної вітки складається з кожуха 20, центрального вала 22 та жорстко прикріпленої до нього гвинтової спіралі 21. В нижній частині кожуха виготовлено отвір для вивантаження готової суміші. Гвинтові спіралі через центральний вал приводяться в рух електродвигунами 15 та 6.

Робота гвинтового змішувача здійснюється наступним чином. Компоненти суміші зернових матеріалів завантажуються із дозаторів через отвір в кожусі 5 в

завантажувальну вітку, звідки гвинтовою спіраллю 8 перемішуються і подаються в зону пересипання 4, звідки з подальшим перемішуванням вони подаються до отвору в кожусі 18 у вивантажувальній вітці. При цьому за допомогою обертового руху віток можна проводити завантаження компонентів з дозаторів, які розміщені на віддалі один від одного, і вивантаження порцій змішаної суміші в тару.

Для спрощення, розглядану систему змішування представлена у вигляді моделі, яка складається зі шнека та циліндричного жолоба (рис. 1, б), які можуть контактувати з вантажем при переміщенні його. При цьому, розміщення частинки сипкого матеріалу відносно даних елементів змішувача визначається через відстані від площин можливого контакту до центру її маси.

Побудована кінематична модель конвєсера є дискретна по часу з кроком $dt \leq 10^{-5}$ с. Кожній поверхні задаються відповідні кінематичні параметри, тобто швидкість поступового руху, кутова швидкість обертання.

Однорідне рівняння робочого органу скребкового транспортера буде [3]:

$$f(x, y, z) = \begin{cases} \frac{T^2}{2\pi\sqrt{(z-c_0)^2 + (y-b_0)^2}} \times \\ \times \arcsin \left| \frac{(z-c_0)\sin\{2\pi(x-a_0)\} - (y-b_0)\cos\{2\pi(x-a_0)\}}{\sqrt{(z-c_0)^2 + (y-b_0)^2}} \right| - h_u, \forall z^2 + y^2 \leq R_u^2; \\ 0, \forall z^2 + y^2 > R_u^2, \end{cases} \quad (1)$$

де T – крок шнека;

h_u – товщина шнека;

R_u – радіус шнека;

a_0, b_0, c_0 – координати початку вісі шнека.

Одинична нормаль шнека буде мати значення: $\vec{n}_3 = \nabla f(x, y, z)$. Звідси можлива точка контакту буде мати такий радіус-вектор: $\vec{r}_{2\text{в}} = \vec{r}_c - f(x, y, z) \cdot \vec{n}_3$, де \vec{r}_c – радіус-вектор розглядуваної частинки вантажу. Оскільки кривизна поверхні гвинта дуже мала у порівнянні з кривизною сферичної частинки, то нею нехтуємо та приймаємо рівною нулю, тому при контакті частинки вантажу з гвинтом використовуємо модель контакту сферичної частинки вантажу і плоскої поверхні, що була розглянута в [4]. Однорідне рівняння площини, яка дотична до можливої точки контакту шнека та розглядуваної частинки вантажу прийме вигляд:

$$f_{2\text{в}}(x, y, z) = \left[\overrightarrow{(x; y; z)} \cdot \vec{n}_3 \right] - \left[\vec{r}_{2\text{в}} \cdot \vec{n}_3 \right]. \quad (2)$$

Якщо в (2) підставити координати вектора \vec{r}_c , то отримуємо відстань центра мас розглядуваної частинки вантажу до площини.

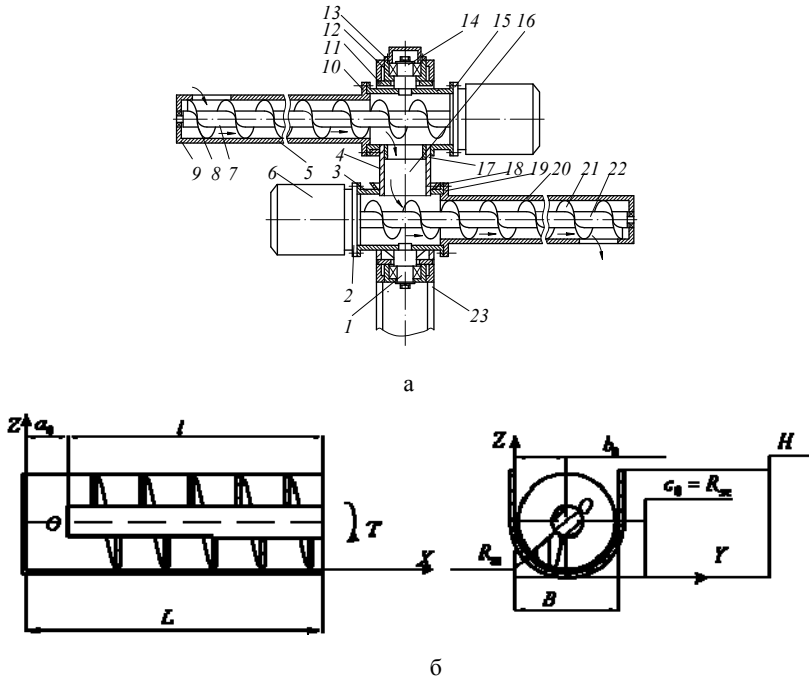


Рис. 1 – Гвинтовий змішувач зернового матеріалу (а) та типова схема поверхонь шнекового конвеєра [4, 5] (б)

У якості центру обертання площини приймається точка на вісі скребка, яка є проєкцією точки контакту шнека з частиною вантажу. Якщо вісь гвинта паралельна вісі OX загальної системи координат, то радіус-вектор центра обертання даної площини буде $\vec{R}_{c2k}(x_{св}; b_0; c_0)$, де $x_{св}$ – координата точки контакту даного гвинта з розглядуваною частинкою вантажу, тобто координата x вектора $\vec{r}_{св}$. Кутова швидкість обертання даної площі дорівнює кутовій швидкості обертання гвинта, тобто $\vec{\omega}_{св}(\omega_{св}; 0; 0)$, де $\omega_{св} = \frac{2\pi n}{60}$, n – кількість обертів гвинта навколо своєї осі за хвилину. Ці дані гвинта підставляються у модель удару кульки з площиною [4].

Відстань від циліндричної поверхні жолобу до центру частинки вантажу:

$$f_{2xyz}(x, y, z) = \begin{cases} R_{ж} - \sqrt{(y - b_0)^2 + (z - c_0)^2}, \forall z \leq R_{ж}; \\ R_{ж} + \sqrt{(y - b_0)^2 + (z - c_0)^2}, \forall z > R_{ж}, \end{cases}$$

де $R_{ж}$ – радіус жолобу.

Одинична нормаль циліндричної поверхні жолоба:

$$\vec{n}_4 = \frac{\overrightarrow{(0; b_0; c_0)} - \overrightarrow{(0; y; z)}}{\left| \overrightarrow{(0; b_0; c_0)} - \overrightarrow{(0; y; z)} \right|}.$$

Можлива точка контакту з циліндричною поверхнею буде мати такий радіус-вектор: $\vec{r}_{жс} = \vec{r}_c - f_{2,xyz}(x, y, z) \cdot \vec{n}_4$, де $\vec{r}_{жс}$ – радіус-вектор розглядуваної частинки вантажу.

Однорідне рівняння площини, яка дотична до можливої точки контакту жолобу та розглядуваної частинки вантажу:

$$f_{2,жс}(x, y, z) = \left[\overrightarrow{(x; y; z)} \cdot \vec{n}_4 \right] - \left[\vec{r}_{жс} \cdot \vec{n}_4 \right]. \quad (3)$$

Якщо в (3) підставити координати вектора \vec{r}_c , то отримуємо відстань центра мас розглядуваної частинки вантажу до поверхні, тобто жолобу.

У якості центру обертання площини приймається нерухома точка на вісі скребка, яка є проекцією точки контакту шнека з частинкою вантажу. Якщо вісь гвинта паралельна вісі OX загальної системи координат, то вектор координат центра обертання даної площини буде $\vec{R}_{c2k}(x_{жс}; b_0; c_0)$, де $x_{жс}$ – координата точки контакту даної циліндричної частини жолоба з розглядуваною частинкою вантажу, тобто координата x вектора $\vec{r}_{жс}$ (рис. 2). Вважається, що кутова швидкість обертання жолобу дорівнює нулю [5]. За допомогою даної функції робиться опис умови контакту робочого органу скребка з вантажем. Припускаємо, що частинка вантажу є кулька з радіусом r_i . Звідси алгоритм опису удару буде наступним (рис. 1): координати частинки вантажу в абсолютній системі координат приводимо до системи координат елемента змішувача, з яким можливий удар; робимо перевірку на можливість удару; якщо удар здійснюється, то застосовуємо гіпотезу Ньютона про коефіцієнт відновлення при ударі; переводимо нові параметри руху частинки вантажу до абсолютної системи координат.

Алгебро-логічний опис елементів змішувача – шнека та жолоба – буде у наступному вигляді:

$$K_{шнека} = (f(x, y, z) < 0); \quad K_{жолоба} = (f_{2,xyz}(x, y, z) < 0 \vee |y| > 0 \vee z > H),$$

де N – кількість поверхонь шнека.

Умова удару частинки о довільну поверхню шнека або жолоба f_{jc} прийме такий вигляд:

$$\xi = (f_{jc} - r_i < 0) \wedge \neg (K_{шнека} \vee K_{жолоба}).$$

При цьому швидкість елемента сипучого вантажу після удару буде

$$\vec{V}_c = \vec{V}_\tau + \vec{V}_n,$$

де \vec{V}_τ – дотична швидкість тіла після удару до поверхні контакту;

\vec{V}_n – нормальна швидкість тіла після удару до поверхні контакту.

Виходячи з гіпотези Ньютона про коефіцієнт відновлення після удару, маємо

$$\vec{V}_n = -k_{\text{від}} \vec{V}_{n0}, \quad \vec{V}_\tau = \vec{V}_{\tau 0},$$

де $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відновлення;

$\vec{V}_{\tau 0}$ – дотична до поверхні швидкість тіла до удару: $\vec{V}_{\tau 0} = \vec{V}_{c0} - \vec{V}_{n0}$;

\vec{V}_{n0} – нормальна до поверхні швидкість тіла до удару: $\vec{V}_{n0} = \vec{n} [\vec{n} \cdot \vec{V}_{c0}]$;

\vec{V}_{c0} – швидкість тіла до удару;

\vec{n} – одинична нормаль поверхні контакту.

Звідси

$$\vec{V}_c = \vec{V}_{c0} - \vec{n} [\vec{n} \cdot \vec{V}_{c0}] (1 + k_{\text{від}}).$$

Слід зазначити, що кінетична енергія під час удару (за 10^{-4} - 10^{-3} с [5]) втрачається на утворення незворотних деформацій і на підвищення температури тіл, що стискаються. Виходячи з загальної теореми Карно, втрачена кінетична енергія під час удару для вільного тіла буде:

$$T_{\text{втр}} = \frac{m \vec{V}_{c0}^2}{2} - \frac{m \vec{V}_c^2}{2} = \frac{1 - k_{\text{від}}}{1 + k_{\text{від}}} \cdot \frac{m (\vec{V}_c - \vec{V}_{c0})^2}{2} = (1 - k_{\text{від}}^2) \frac{[\vec{n} \cdot \vec{V}_{c0}]^2}{2} m, \quad (4)$$

де m – маса частинки сипучого матеріалу.

Приведені формули використовуються для розробки програм на мові Delphi для перевірки ймовірності удару частинки вантажу зі шнековим змішувачем та визначення основних кінематичних параметрів частинок в потоці.

Таким чином, здійснений алгебро-логічний опис робочого органу шнекового змішувача для моделювання досліджувальних технологічних процесів, а також визначені умови виникнення можливого удару частинки вантажу з ним, на основі чого визначається кінематика частинок в руслі шнекової машини. Дана модель є основою для побудови динамічної моделі шнекового змішувача, де вантаж буде розглядатися як рух сукупності окремих частинок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вплив параметрів транспортних систем зернозбирального комбайна на характер проходження зернових потоків / Булгаков В.М., Бурлака О.А., Іщенко В.В., Орехівський В.Д. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. пр. НАУ, 2002. – Т. VII. – С. 217.
2. Аналіз руху сипкого матеріалу в роторі постачального пристрою гравітаційного-роторного типу при підвищених подачах / Оришка О.В., Гончаров В.В., Кварцова Г.В., Артюхов А.М. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. пр. НАУ. – К.: НАУ, 2000. – Т. IX. – С. 100.
3. Рогатинський Р.М., Дудін О.В. Вибір раціональних параметрів скребкових конвесерів // Підіймно-транспортна техніка. – 2004. – №2. – С. 75-83.
4. Рогатинський Р.М. Моделювання процесів взаємодії шнекових робочих органів із коренебульбоплодами // Збірник наукових праць національного аграрного університету. – Київ, 1997. – Т. 1. – С. 62-66.
5. Розробка наукових основ та теорії змішування та розділення багатокомпонентних сипких сумішей на основі елементної взаємодії твердих частинок: Звіт про науково-дослідну роботу (заключний). – № держреєстрації 0102U002299. – Тернопіль: ГДТУ, 2004. – 175 с.