

УДК 621.577

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОХИЛИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ-ЗМІШУВАЧІВ З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ*Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дмитрів О. Р., Коваль С. О.**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

Перевагою прямоточних гвинтових конвеєрів-змішувачів є те, що процес змішування сипких матеріалів проходить безперервно, одночасно із його транспортуванням, що забезпечує високу продуктивність змішування та його легку автоматизацію. Проте низька інтенсивність перемішування компонентів у таких змішувачах, особливо великої продуктивності, потребує збільшення часу перебування суміші у робочій зоні та веде до збільшення довжини змішувачів і, відповідно, їх матеріаломісткості. Проведений аналіз показав, що підвищити їх ефективність можна, розв'язавши протиріччя, що полягає у забезпеченні належної кількості перелопачувань суміші в конвеєрі-змішувачі малої довжини. Таку умову можна реалізувати в конвеєрі-змішувачі із обертовим кожухом.

Метою досліджень є встановлення раціональних параметрів та режимів роботи гвинтових конвеєрів-змішувачів неперервної дії із обертовим кожухом, які забезпечують якісне змішування в них сипких матеріалів за малої їх довжини.

В результаті аналізу літературних джерел та даних попередніх експериментальних досліджень встановлено, що інтенсивність змішування та згладжувальна здатність конвеєрів максимально зростають із зростанням кількості перелопачувань суміші. У [1] показано, що згладжувальна здатність конвеєра та якість змішування у гвинтовому конвеєрі-змішувачі досягає максимального значення при коефіцієнті пересипання суміші через вал $\psi = 0,5$.

У конвеєрі-змішувачі з обертовим кожухом такий режим роботи забезпечується вибором відповідних кутової швидкості обертання кожуха ω_2 , кута нахилу конвеєра-змішувача до горизонту γ , коефіцієнтів тертя суміші до гвинта μ_1 та кожуха μ_2 та коефіцієнта кроку гвинта, $k_T = T/D$, де T та D - відповідно крок та зовнішній діаметр гвинта (в моделі D приймається рівним діаметру кожуха).

Виберемо циліндричну систему координат $O\rho\varphi z$, таким чином, що вісь Oz була спрямована по осі конвеєра в напрямку транспортування суміші, позитивний відлік кутового параметру φ відповідав напрямкам обертання гвинта ω_1 та кожуха ω_2 , а вісь $O\rho$, при $\varphi = 0$, була спрямована вниз і з вектором земного тяжіння утворювала кут γ . На першому етапі суміш

піднімається гвинтом до зони відриву від кожуха, де одні частинки, залежно від розміщення та набутої швидкості, перекидаються через вал без осьового зміщення, а інші сповзають по гвинту і транспортуються, як і в тихохідному гвинтовому конвеєрі, із осьовою швидкістю потоку суміші $v_z = (\omega_1 - \omega_2)T / 2\pi$. Саме різниця кутових швидкостей $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ дозволяє регулювати осьову швидкість потоку та кількість перелопачувань при обмеженій довжині конвеєра.

Складемо рівняння руху довільної i -ої частинки суміші з кутовим параметром $\varphi = \theta_i$ та радіальним $\rho = R = \text{const}$, де R - радіус внутрішньої поверхні обертового кожуха:

$$\begin{aligned} -N_{2i} + m_i g \cos \gamma \cos \theta_i + \Sigma P_{\rho i} + m_i R \dot{\theta}_i^2 &= 0; \\ (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) \cdot N_{1i} - \mu_2 \cos \beta_{2i} \cdot N_{2i} + \Sigma P_{\phi i} - \\ - m_i g \cos \gamma \sin \theta_i - m_i R \ddot{\theta}_i &= 0; \\ (\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha) \cdot N_{1i} - \mu_2 \sin \beta_{2i} \cdot N_{2i} + \Sigma P_{zi} - m_i g \sin \gamma - m_i T(\dot{\omega}_1 - \\ \ddot{\theta}_i) / 2\pi &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут m_i - маса i -ої частинки; N_{1i} та N_{2i} - відповідно, сили нормальних реакцій, що діють на частинку від поверхонь шнека та кожуха; $F_{1i} = \mu_1 N_{1i}$ та $F_2 = \mu_2 N_2$ - сили тертя від цих сил; μ_1 та μ_2 - коефіцієнти тертя ковзання частинки по поверхнях, відповідно, гвинта та кожуха; $\theta, \dot{\theta}$ та $\ddot{\theta}$ - відповідно, кутові параметр, швидкість та прискорення частинки в системі $O\rho\varphi z$; $\Sigma \bar{P}_i$ - сумарна дія зовнішніх впливів від інших частинок, для випадку дії на відокремлені частинки по напрямку руху на верхній крайці; β_{2i} - кут нахилу траєкторії i -ої частинки до площини поперечного перерізу конвеєра.

На дузі піднімання суміші, де реалізується стаціонарний її рух, приймаємо $\ddot{\theta}_i = 0$. Розглянемо рух відокремленої частинки ($\Sigma \bar{P}_i = 0$), який буде характеризувати вплив тільки зовнішніх сил, прикладених до неї. Тоді із першого та третього рівнянь системи (1) маємо, відповідно:

$$N_{2i} = m_i (R \dot{\theta}_i^2 + g \cos \gamma \cos \theta_i); N_{1i} = \frac{m_i g \sin \gamma + \mu_2 \sin \beta_{2i} \cdot N_{2i}}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}. \quad (2)$$

Із сумісного розв'язку рівнянь 2 і 3 системи (1) отримуємо залежність для визначення кута нахилу β_{2i} траєкторії руху частинки по рухомому кожуху:

$$\beta_{2i} = \arccos \left[\frac{g[\sin \gamma \sin(\alpha + \varphi_1) - \sin \theta_i \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi_1)]}{\mu_2 (R \dot{\theta}_i^2 + g \cos \gamma \cos \theta_i)} \right] - \alpha - \varphi_{\mu 1}. \quad (3)$$

На рис. 1-4 показано зміну кута β_2 нахилу траєкторії руху відокремленої частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення θ для різних значень: кутової швидкості кожуха ω_2 ; коефіцієнта тертя $\mu_1 = \mu_2$; коефіцієнта кроку k_T ; кута нахилу конвеєра змішувача γ .

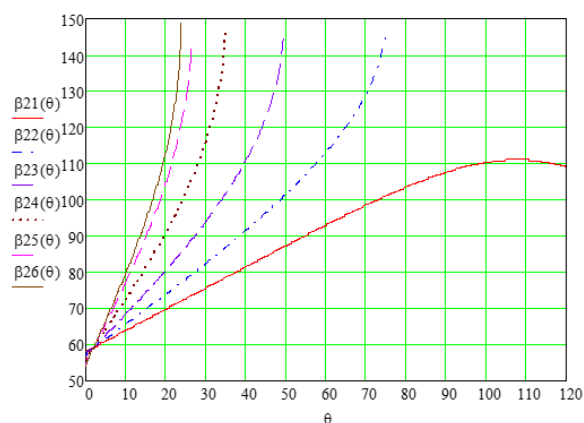


Рис. 1 Зміна кута β_2 нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення θ при: $\mu_1=\mu_2=0,3$; $k_T=0,8$; $\gamma=30^\circ$ для різних кутових швидкостей кожуха ω_2 (с^{-1}): 1-25; 2-20; 3-15; 4-10; 5-5; 6-0.

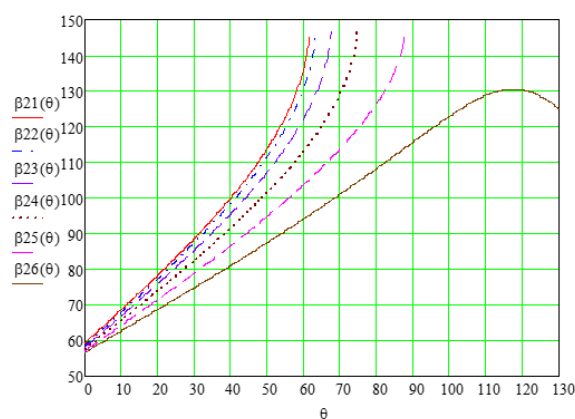


Рис. 2 Зміна кута β_2 нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення θ при: $\mu_1=\mu_2=0,3$; $k_T=0,8$; $\omega_2 = 20 \text{ с}^{-1}$ для різних кутів нахилу конвеєра-змішувача γ (град): 1-0; 2-10; 3-20; 4-30; 5-40; 6-50.

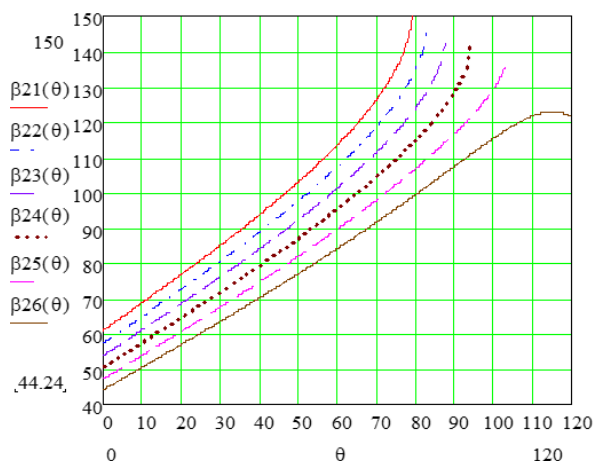


Рис. 3 Зміна кута β_2 нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення θ при: $\mu_1=\mu_2=0,3$; $\gamma=30^\circ$; $\omega_2 = 20 \text{ с}^{-1}$ для різних коефіцієнтів кроку гвинта конвеєра-змішувача k_T : 1-0,6; 2-0,8; 3-1,0; 4-1,2; 5-1,4; 6-1,6.

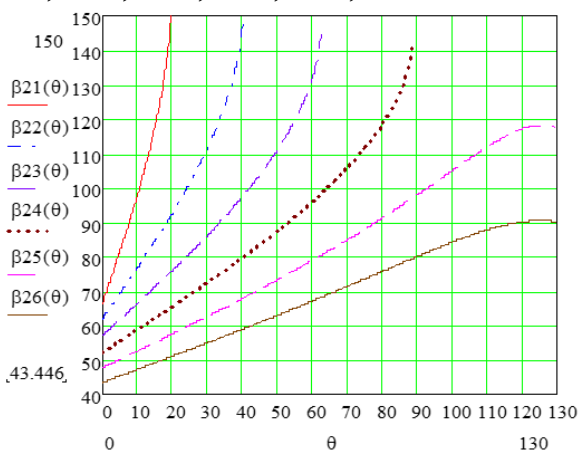


Рис. 4 Зміна кута β_2 нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення θ при: $\gamma=30^\circ$; $k_T=0,6$; $\omega_2 = 18 \text{ с}^{-1}$ для різних коефіцієнтів тертя $\mu_1=\mu_2$: 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4; 5-0,5; 6-0,6.

Із наведених залежностей видно, що внизу конвеєра ($\theta=0$ і далі) дія сил тертя переважає вплив сил тяжіння ($\beta_{2i} < 90^\circ$), і частинка, під дією гвинта, випереджатиме рух кожуха ($\dot{\theta} > \omega_2$). При $\beta_{2i} = 90^\circ$ кутова швидкість зрівнюється із кутовою швидкістю кожуха, $\dot{\theta} = \omega_2$, а при $\beta_{2i} > 90^\circ$ сили тяжіння переважатимуть і частинка зсуватиметься вниз по гвинту і $\dot{\theta} < \omega_2$. Із рис. 1-4 випливає, що залежно від відмічених факторів, реалізується біфуркаційний перехід від тихохідного режиму, який характеризується зривом функції зміни кута $\beta_{2i}(\theta)$ до швидкохідного режиму. Перехідний режим характеризується максимальним збуренням та перемішуванням

суміші. Проведений аналіз впливу інших частинок ($\Sigma \bar{P}_i$) в рівняннях (1) показав, що можливий перехід від задачі руху частинки до руху потоку суміші, де за параметри частинки приймають параметри центра тіла волочіння суміші. За реалізованою моделлю фактори приймають такими, щоб при $\beta_{2i} = 90^\circ$, з горизонтальним стаціонарним переміщенням суміші, кутовий параметр її центра ваги, залежно від коефіцієнта наповнення конвеєра-змішувача, мав значення більше $\theta_C > 45 - 50$.

В цьому випадку відбуватиметься стаціонарний рух суміші по кожуху по осях Oz та $O\phi$, при якому верхня частина потоку відриватиметься від кожуха і перекидатиметься через вал із належним перелопачуванням суміші.

Список використаних джерел

1. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В., Гудь, В.З., Дмитрів О.Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. Сільськогосподарські машини. 2020. Вип. 45. С. 84-93.

УДК 631.36

ПРУЖНО-В'ЯЗКО-ПЛАСТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕРНОВОГО СЕРЕДОВИЩА З ВІБРОДЕКОЮ

Волик Д. А., Степаненко С. П.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

Постановка проблеми. В процесі очищення та сортування зерна на вібраційних сепараторах важливим є точне визначення сил, які діють на зерно при його контакті з вібруючою поверхнею. Однак, існуючі моделі взаємодії не враховують достатньо комплексно вплив еластичних, в'язких та пластичних властивостей зернового середовища [1-3]. Це призводить до похибок у визначенні сили нормальної реакції, що впливає на ефективність роботи сепаратора та якість обробки зерна [4, 5].

Мета. Дана робота спрямована на розробку пружно-в'язко-пластичної моделі взаємодії зернового середовища з вібраційною поверхнею, яка дозволить точніше описати поведінку зернівок при їх русі по вібродеці сепаратора.

Результати. Спираючись на досягнення в теорії вібраційних процесів, для більш точного визначення сили нормальної реакції була запропонована пружно-в'язко-пластична модель вібраційного руху зернівок на етапі контактної взаємодії з вібродекою сепаратора в напрямку,