

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  $\omega_2$ , кута нахилу конвеєра-змішувача до горизонту  $\gamma$ , коефіцієнтів тертя суміші до гвинта  $\mu_1$  та кожуха  $\mu_2$  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  $O_r\varphi z$ , таким чином, що вісь  $Oz$  була спрямована по осі конвеєра в напрямку транспортування суміші, позитивний відлік кутового параметру  $\varphi$  відповідав напрямкам обертання гвинта  $\omega_1$  та кожуха  $\omega_2$ , а вісь  $O_r$ , при  $\varphi = 0$ , була спрямована вниз і з вектором земного тяжіння утворювала кут  $\gamma$ . На першому етапі суміш

піднімається гвинтом до зони відриву від кожуха, де одні частинки, залежно від розміщення та набутої швидкості, перекидаються через вал без осевого зміщення, а інші сповзають по гвинту і транспортуються, як і в тихохідному гвинтовому конвеєрі, із осевою швидкістю потоку суміші  $v_z = (\omega_1 - \omega_2)T / 2\pi$ . Саме різниця кутових швидкостей  $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$  дозволяє регулювати осеву 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  $\rho = R = const$ , де  $R$  - радіус внутрішньої поверхні обертового кожуха:

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

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  $F_{2i} = \mu_2 N_{2i}$  - сили тертя від цих сил;  $\mu_1$  та  $\mu_2$  - 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;  $\beta_{2i}$  - 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  $\beta_{2i}$  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  $\beta_2$  нахилу траєкторії руху відокремленої частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення  $\theta$  для різних значень: кутової швидкості кожуха  $\omega_2$ ; коефіцієнта тертя  $\mu_1 = \mu_2$ ; коефіцієнта кроку  $k_T$ ; кута нахилу конвеєра змішувача  $\gamma$ .

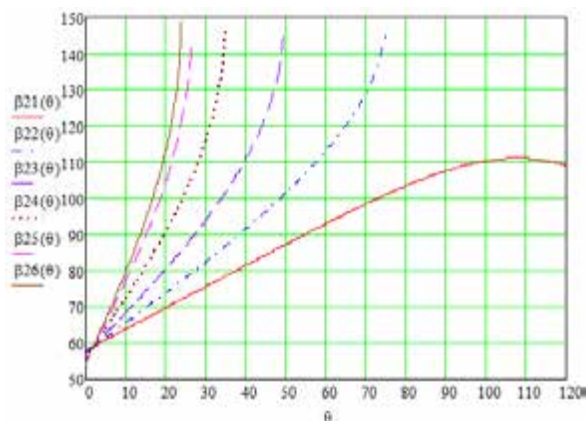


Рис. 1 Зміна кута  $\beta_2$  нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення  $\theta$  при:  $\mu_1=\mu_2=0,3$ ;  $k_T=0,8$ ;  $\gamma=30^\circ$  для різних кутових швидкостей кожуха  $\omega_2$  ( $\text{с}^{-1}$ ): 1-25; 2-20; 3-15; 4-10; 5-5; 6-0.

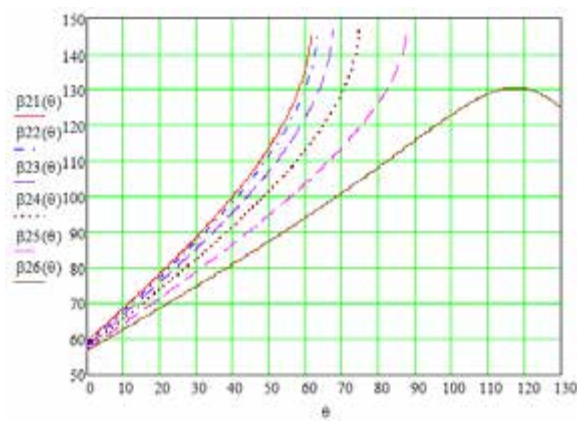


Рис. 2 Зміна кута  $\beta_2$  нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення  $\theta$  при:  $\mu_1=\mu_2=0,3$ ;  $k_T=0,8$ ;  $\omega_2 = 20 \text{ с}^{-1}$  для різних кутів нахилу конвеєра-змішувача  $\gamma$  (град): 1-0; 2-10; 3-20; 4-30; 5-40; 6-50.

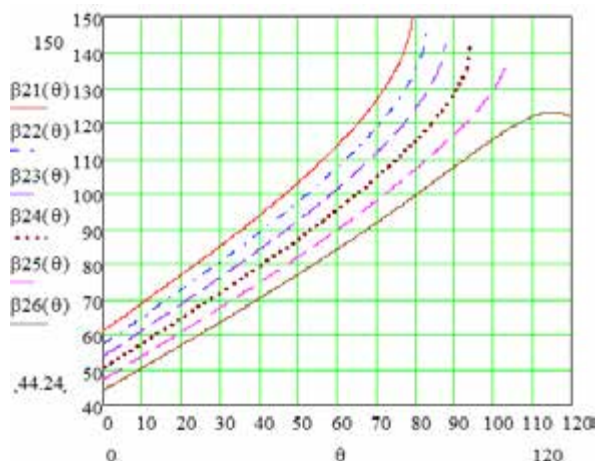


Рис. 3 Зміна кута  $\beta_2$  нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення  $\theta$  при:  $\mu_1=\mu_2=0,3$ ;  $\gamma=30^\circ$ ;  $\omega_2 = 20 \text{ с}^{-1}$  для різних коефіцієнтів кроку гвинта конвеєра-змішувача  $k_T$ : 1-0,6; 2-0,8; 3-1,0; 4-1,2; 5-1,4; 6-1,6.

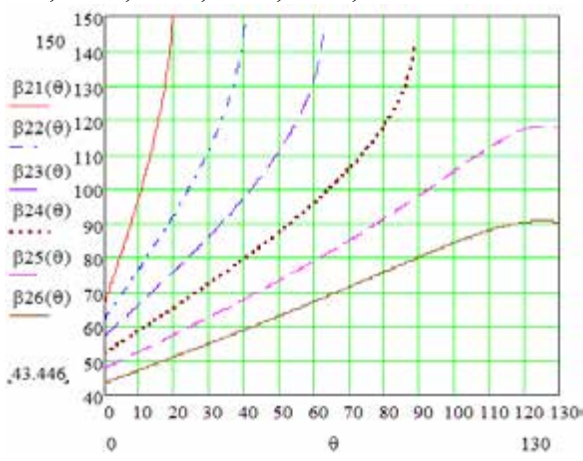


Рис. 4 Зміна кута  $\beta_2$  нахилу траєкторії руху частинки по поверхні кожуха від кутового її розміщення  $\theta$  при:  $\gamma=30^\circ$ ;  $k_T=0,6$ ;  $\omega_2 = 18 \text{ с}^{-1}$  для різних коефіцієнтів тертя  $\mu_1=\mu_2$ : 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4; 5-0,5; 6-0,6.

Із наведених залежностей видно, що внизу конвеєра ( $\theta = 0$  і далі) дія сил тертя переважатиме 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 волочиння 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.

ISBN 978-617-8102-06-7

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра сільськогосподарських машин  
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка

**ЗБІРНИК**  
**ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**  
**XXV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**"Сучасні проблеми землеробської механіки"**  
**(17–19 жовтня 2024 року)**

*присвяченій 124-й річниці з дня народження академіка  
Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування  
механіко-технологічного факультету НУБіП України*



**Київ – 2024**

**ББК40.7**

**УДК 631.17+62-52-631.3**

**JEL CLASSIFICATION Q 01; D 24; P 42**

**З 38**

*Рекомендовано до друку збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" вченою радою механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 15 жовтня 2024 року протокол № 3.*

Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. 527 с.

**ISBN 978-617-8102-06-7**

В збірнику тез представлено анотований зміст доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок з: розвитку сучасної землеробської механіки; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для рослинництва; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для тваринництва; смарт-технологій машиновикористання, інженерного менеджменту, технічного сервісу; транспортних технологій та логістики; історії аграрної освіти і науки; будівництва сільських територій; надійності машин для сільського, лісового і водного господарств та харчових технологій; удосконалення та нові розробки біотехнологічних процесів і технічних засобів.

**Організаційний комітет:**

*Ткачук В.А. – д.е.н., проф., ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), голова.*

*Ніколаєнко С.М. – д.п.н., проф., академік НАПН, академік НААН, президент НУБіП, співголова.*

*Тонха О.Л. – д.с.-г.н., проф., проректорка з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП, співголова.*

*Братішко В.В. – д.т.н., проф., декан НУБіП, співголова.*

Войтюк Д.Г. – к.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри НУБіП, співголова.

Адамчук В.В. – д.т.н., проф., академік НААН, директор ІМА АПВ.

Аулін В.В. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.

Барановський В.М. – д.т.н., проф., ТНТУ імені Івана Пулюя.

Борак К.В. – д.т.н., проф., заступник директора ЖАТФК.

Бредихін В.В. – д.т.н., доц., декан ДБУ.

Вергунов В.А. – д.с.-г.н., д.і.н., проф., академік НААН, директор ННСГБ НААН.

Вечера О.М. – ст. викл. кафедри НУБіП, секретар оргкомітету конференції.

Гуменюк Ю.О. – к.т.н., доц., завідувач кафедри НУБіП.

Гуцол О.П. – к.т.н., доц., керівник приватного підприємства.

Зубко В.М. – д.т.н., проф., декан СНАУ.

Іванишин В.В. – д.е.н., проф., академік НААН, ректор ЗВО «ПДУ».

Іценко Т.Д. – к.п.н., проф., директор ДУ «НМЦВФПО».

Калетнік Г.М. – д.е.н., проф., академік НААН, президент ВНАУ.

Кірчук Р.В. – к.т.н., проф., декан ЛНТУ.

Кобець А.С. – д.н. з держ. упр., проф., ректор ДДАЕУ.

Ковалишин С.Й. – к.т.н., проф., декан ЛНУП.

Гуцол О.П. – к.т.н., власник і бенефіціар аграрних компаній.

Козаченко Л.П. – президент Української аграрної конфедерації.

Кравчук В.І. – д.т.н., проф., академік НААН, директор УМІ АПІ.

Кропівний В.М. – к.т.н., проф., ректор ЦНТУ.

Кульгавий В.Ф. – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів».

Кюрчев В.М. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, радник ректора ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Кюрчев С.В. – д.т.н., проф., ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Лавріненко О.Т. – к.т.н., доц. кафедри НУБіП.

Лукач В.С. – к.п.н., проф., директор ВП НУБіП «НАТІ».

Маруцак П.О. – д.т.н., проф., проректор ТНТУ імені Івана Пулюя.

Мельник В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ДБУ.

Мироненко В.Г. – д.т.н., проф., ІМА АПВ.

Мороз О.О. – Голова Верховної Ради України двох скликань.

Надикто В.Т. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри ТДАТУ імені Дмитра Моторного.

Панцир Ю.І. – к.т.н., доц., декан ЗВО «ПДУ».

Пастухов В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.

Пилипака С.Ф. – д.т.н., проф., завідувач кафедри НУБіП України.

Пугач А.М. – д.н. з держ. упр., проф., декан ДДАЕУ.

Пушка О.С. – к.т.н., доц., проректор УНУС.

Ребенко В.І. – к.т.н., доц., доцент кафедри НУБіП.