

УДК 631.356

І.Г.Ткаченко, Ю.Б.Гладь, Р.Б.Гевко, О.В.Павелчак*

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, *Філія Тернопільської академії народного господарства, Чортківський інститут підприємництва і бізнесу

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТЕРА-СЕПАРАТОРА

Аналіз існуючих типів компоновок бурякозбиральних машин свідчить, що скребкові транспортери, в основному, пасивно переміщують ворох без його доочищення, а їх площа, що складає 40...70% від площі поверхонь технологічних русел машин практично не використовується для активної сепарації коренеплодів [1]. Перспективним є спосіб інтенсифікації сепарації шляхом надання полотну повздовжніх коливних рухів [2]. Це забезпечить відрив коренеплодів від несучих поверхонь скребка, їх додаткове переміщення по прутковій поверхні полотна, та покращення їх очищення. Подібного ефекту можна також досягти за рахунок миттєвого провертання скребків навколо осей спеціальних роликів. Оскільки коренеплід в процесі переміщення знаходиться на прутковому полотні та контактує з робочою поверхнею скребка в точці, що має більший радіус обертання, а, відповідно, і більшу лінійну швидкість ніж точка контакту з полотном, то в зоні провороту коренеплід отримує прискорення, що призводить до його відриву від скребка, та вільного польоту до взаємодії з прутковою поверхнею полотна. В процесі таких ударних взаємодій відбувається очищення (шляхом струшування) коренеплодів від ґрунту та їх додаткова сепарація.

Розглянемо рух коренеплоду при його проходженні через зону активізації. Тут за рахунок дії доцентрового прискорення відбувається прискорений рух коренеплоду з можливим його відривом від несучої поверхні скребка. Варіант розміщення коренеплоду на полотні в зоні контакту з скребком зображено на рис.1. Умовні позначення на рисунку: α - кут нахилу скребка до поверхні полотна транспортера; β - кут між полотном і лінією, що з'єднує осі обертання активізуючих роликів; γ - кут нахилу полотна транспортера до горизонту (кут підйому); λ_n і λ_k – початковий і кінцевий кути

охоплення полотном активізуючого ролика; l – відстань між активізуючими роликами; R_p – радіус активізуючого ролика; R_k – радіус коренеплоду; S_o – висота розміщення коренеплоду над поверхнею полотна; Δ – товщина несучої стрічки транспортера.

Під час проходження полотна через зону активізації коренеплід рухається по дузі кола радіусом $R=R_p+\Delta+R_k+S_o$ в межах кута $\lambda_n \leq \lambda \leq \lambda_k$. Кінцевий кут дуги $\lambda_k \cong 90^\circ$, а початковий можна визначити із геометричних співвідношень:

$$\cos(\lambda_n - \beta) = \frac{2R_p + \Delta}{l}, \quad \lambda_n = \arccos\left(\frac{2R_p + \Delta}{l}\right) + \beta. \quad (1)$$

Можливі два варіанти руху коренеплоду: безвідривний, коли контакт між полотном і коренеплодом не втрачається та відривний. В кожному з цих випадків система сил, що діє на коренеплід є різною і зображена на рис.2а і 2б відповідно. Умовні позначення на рисунку: Φ_i – сила інерції обертового руху; $\Phi_{кор}$ – сила Коріоліса; F_T – сила тертя коренеплоду від контакту з несучою поверхнею скребка; N_1 – сила реакції скребка на коренеплід; N_2 – сила реакції полотна транспортера на коренеплід.

Для відриву від полотна необхідно, щоб реакція $N_2=0$. Розглянемо процес руху коренеплоду по несучій поверхні скребка після відриву від полотна. Схема зусиль для такого випадку зображена на рис. 2б. В цьому випадку рух коренеплоду опишеться системою рівнянь:

$$\begin{cases} -m\omega^2 R \cos \varphi + N_1 \cos(\alpha - \varphi) + F_T \cos(\varphi + (90 - \alpha)) - \Phi_{кор} \sin \varphi = m\ddot{S} \cos \varphi; \\ -mg + m\omega^2 R \sin \varphi + N_1 \sin(\alpha - \varphi) - F_T \sin(\varphi + (90 - \alpha)) - \Phi_{кор} \cos \varphi = m\ddot{S} \sin \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

Після відповідних перетворень отримуємо рівняння для визначення траєкторії руху коренеплоду:

$$\begin{aligned} \ddot{S} + \dot{S} \frac{2\omega(\cos \alpha + \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha} + S\omega^2 \frac{(f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha} = \\ = \omega^2 \frac{R(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha} - g \frac{\cos(\alpha - \varphi) + f \sin(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha + f \cos \alpha}, \end{aligned} \quad (3)$$

де S – шлях переміщення коренеплоду по радіусу; \dot{S} і \ddot{S} – відпо-

відно його швидкість і прискорення; $\Phi_{\text{кор}} = 2m\omega\dot{S}$; $F_T = N_1 \cdot f$; f – зведений коефіцієнт тертя коренеплоду по поверхні скребка, який враховує різноманітні види тертя (ковзання, кочення та їх комбінацію при різній орієнтації коренеплоду на скребок); $\varphi = \lambda - \gamma$.

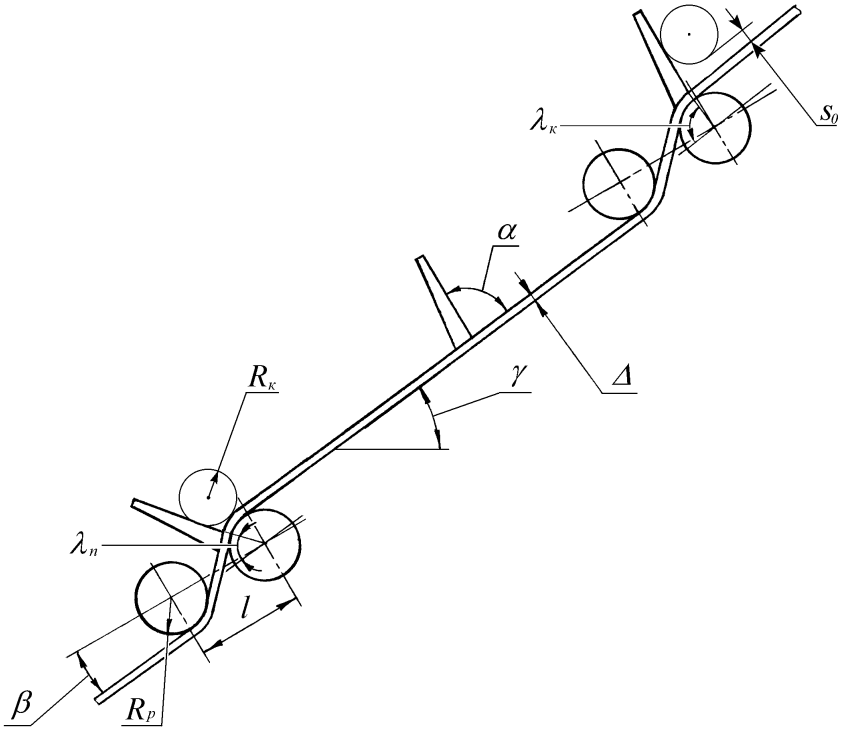


Рисунок 1 – Розміщення коренеплоду на скребку і геометрія транспортера

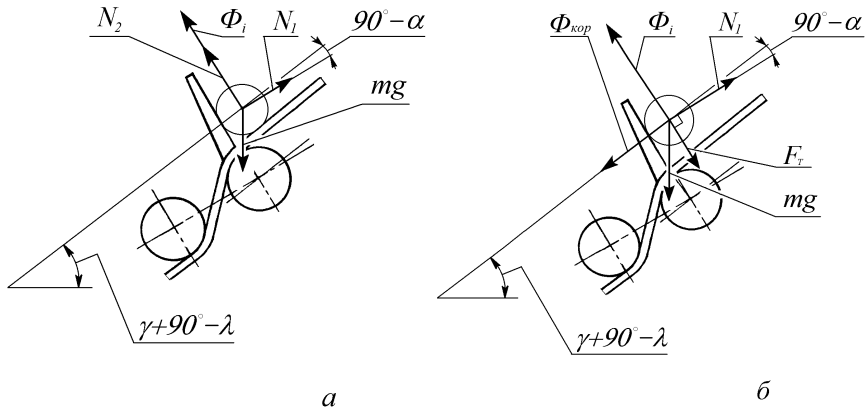


Рисунок 2 – Система сил, що діє на коренеплід під час транспортування:

a - для безвідривного руху; *б* – для відривного руху

Розв'язок диференціального рівняння знайдемо за допомогою складання характеристичного рівняння виду:

$$k^2 + kQ_1 + Q_0 = 0;$$

$$k_{1/2} = -\frac{Q_1}{2} \pm \sqrt{\frac{Q_1^2}{4} - Q_0}, \quad (4)$$

$$\text{де } Q_1 = \frac{2\omega(\cos \alpha + f \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha}; \quad Q_0 = \omega^2 \frac{(f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha}$$

Загальний розв'язок однорідного рівняння має вигляд:

$$S_3 = Ae^{k_1 t} + Be^{k_2 t}. \quad (5)$$

Частковий розв'язок шукаємо у вигляді:

$$S_4 = E + D_1 \sin \varphi + D_2 \cos \varphi. \quad (6)$$

Підставимо значення S_4 у рівняння (1) і отримаємо:

$$E = -R\omega^2 \frac{\sin \alpha - f \cos \alpha}{\sin \alpha + f \cos \alpha};$$

$$D_1 = \frac{g[(\sin \alpha - \cos \alpha) - f(\sin \alpha + \cos \alpha)]}{4(\sin \alpha + f \cos \alpha)\omega^2}; \quad (7)$$

$$D_2 = \frac{g[(\sin \alpha + \cos \alpha) - f(\cos \alpha - \sin \alpha)]}{4(\sin \alpha + f \cos \alpha)\omega^2}.$$

Загальний розв'язок рівняння (3) має вигляд суми $S_3 + S_4$:

$$S = Ae^{k_1 t} + Be^{k_2 t} + D_1 \sin \varphi + D_2 \cos \varphi + E. \quad (8)$$

Початкові умови руху при $t = 0$; $S = S_0$; $\dot{S} = 0$.

Продиференціювавши, отримаємо:

$$\dot{S} = k_1 A e^{k_1 t} + k_2 B e^{k_2 t} + \omega D_1 \cos \varphi - \omega D_2 \sin \varphi. \quad (9)$$

З початкових умов визначимо сталі інтегрування A і B :

$$A = -D_1 \sin \varphi - D_2 \cos \varphi - E;$$

$$B = \frac{\omega(D_2 \sin \varphi - D_1 \cos \varphi) - k_1(D_1 \sin \varphi + D_2 \cos \varphi + E)}{k_1 - k_2}.$$

Аналіз отриманих результатів доцільно проводити за допомогою ЕОМ, побудувавши криві, що визначають пройдений шлях S і швидкість \dot{S} в момент коли $\lambda = \lambda_k$, тобто через час $t_k = \frac{\lambda_k - \lambda_n}{\omega}$ проходження скребка по дузі.

В наступний після t_k момент часу рух скребка буде здійснюватись по прямій, а коренеплід продовжить рух з швидкістю $V_{кор} = \sqrt{\dot{S}^2 + (\omega R)^2}$ відносно нерухомої системи координат під кутом $\xi = \arctg \frac{\dot{S}}{\omega R}$ до полотна транспортера.

Якщо під час розрахунків виявиться, що швидкість за даних умов менша нуля, це означає, що явища відриву від поверхні полотна і руху коренеплоду по скребку не відбудеться, тобто транспортер буде працювати без додаткової сепарації вороху. Такий режим роботи не сприяє очищенню, тому необхідно підібрати параметри транспортування, які б виключили його. Ще більш не прийнятним є режим сепарації, коли коренеплід занадто далеко викидається із

скребка, що може спричинити його пошкодження при падінні, або взагалі втрату внаслідок викидання за межі транспортера.

Для цього визначимо траєкторію польоту коренеплоду після відриву від скребка відносно рухомого транспортера з метою визначення відстані польоту і швидкості удару об поверхню полотна при падінні.

Розв'язок проведемо в рухомій системі координат транспортера. В цьому випадку швидкість, паралельна напрямку транспортування, рівна різниці швидкостей $v_T = \omega R - v$, а кут вильоту

$$\xi_T = \operatorname{arctg} \frac{\dot{S}}{v_T}.$$

Записавши рівняння руху в координатах X і Y , зв'язаних із системою транспортера отримаємо:

$$m\ddot{x} = 0; \quad m\ddot{y} = -mg.$$

Початкові умови:

$$\text{при } t = 0, \quad X_0 = -S \sin \gamma, \quad \dot{X}_0 = -\dot{S} \sin \gamma + v_T \cos \gamma;$$

$$Y_0 = S \cos \gamma; \quad \dot{Y}_0 = \dot{S} \cos \gamma + v_T \sin \gamma.$$

Рівняння поверхні транспортера $Y = X \operatorname{tg} \gamma$.

Розв'язок системи рівнянь із початковими умовами дає залежність для визначення часу польоту коренеплоду до моменту зіткнення з полотном:

$$t = \frac{\dot{S}_0 \pm \sqrt{\dot{S}_0^2 + 2gS_0 \cos \gamma}}{g \cos \gamma}.$$

При цьому:

$$X = X_0 + \dot{X}_0 t; \quad Y = Y_0 + \dot{Y}_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

Відстань польоту коренеплоду у рухомій системі координат

$$l_{\text{кор}} = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2}. \quad (10)$$

Швидкість співудару коренеплоду і полотна доцільно обчислити як максимальну абсолютну швидкість при падінні кореня на

поверхню транспортера, тому що удар відбувається об пруток полотна в найгіршому випадку центрального удару:

$$V_{y0} = \sqrt{\dot{X}_0^2 + (\dot{Y}_0 - gt)^2}. \quad (11)$$

Для дослідження результатів обчислень на основі рівнянь (8) – (11) складено програму і визначено розрахункові параметри при варіації параметрів системи і коренеплоду в заданих межах, які обумовлені конструктивними особливостями бурякозбиральних машин.

1. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б.Гевко, І.Г.Ткаченко, С.В.Синій, В.М.Булгаков, Р.М.Рогатинський, О.В.Павелчак. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.
2. Гевко Р.Б., Павх І.І., Гладь Ю.Б., Ткаченко І.Г. Розрахунок конструктивно-кінематичних параметрів стрічкового транспортера-очисника // Зб. Сільськогосподарські машини. Вип.5. – Луцьк: ЛДТУ. – 1999. – С. 46 – 53.