

ІНЖЕНЕРНІ ПРОБЛЕМИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 631.356.2

¹Р.Б.Гевко, д.т.н.
¹О.Б.Павелчак, к.т.н.
²І.В.Фльоні

ОБГРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРУ РУХУ КОРЕНЕПЛОДІВ НА ПРУТКОВОМУ ПОЛОТНІ З КОЛИВНИМИ СКРЕБКАМИ

¹Тернопільський національний економічний університет, rb-gevko@ukr.net
²ВП НУБіП Бережанський агротехнічний інститут

У статті наведено теоретичне обґрунтування характеру переміщення коренеплодів цукрових буряків по поверхні коливних скребків, а також по поверхні прутків доочисного транспортера та визначено його раціональні параметри.

Ключові слова: очищення коренеплодів, повздовжні транспортери-сепаратори, рівняння руху

Вступ

Якісне очищення коренеплодів цукрових буряків робочими органами коренезбиральних машин, з допустимими їх пошкодженнями, дозволить мінімізувати вивезення ґрунту з поля на переробні пункти разом з викопаними коренеплодами.

Частково вирішити дану проблему можна шляхом постійного доочищення коренебульбоплодів після їх виходу з агресивних сепараторів збиральних машин на пруткових та скребкових транспортерах.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз відомих досліджень показав, що на даний час існують ряд конструкцій сепаруючих пруткових транспортерів, які забезпечують доочищення коренеплодів. В одних випадках скребковому полотну надають повздовжні коливання [1], а інших – еластичне полотно зі скребками переміщається по локальних криволінійних трасах [2]. Це забезпечує відрив коренеплодів від несучої поверхні скребків і їх перекочування з ковзанням по прутках полотна з доочищенням. Однак такі конструктивні схеми сепаруючих транспортерів характеризуються підвищеними енерговитратами та низькою довговічністю.

Відомий спосіб доочищення де окрема група скребків разом з коренеплодами в певних зонах повертається і під дією пружини викидає коренеплоди на пруткове полотно [3, 4], що сприяє їх доочищенню. Однак відомі схеми є конструктивно недосконалі, що знижує їх експлуатаційну надійність.

Постановка завдання

Для підвищення функціональних показників повздовжніх транспортерів-сепараторів, які забезпечують доочищення коренеплодів від домішок ґрунту та рослинних решток при мінімальному їх пошкодженні та регулюванні інтенсивності ступеня сепарації, необхідно провести теоретичне обґрунтування раціональних параметрів розробленої конструкції скребкового транспортера-очисника [5].

Основний зміст

Розглянемо процес руху коренеплоду по поверхні скребка при спрацюванні пружини, відхиленої на певний кут відносно початкового положення, а також подальший його вільний рух після зупинки скребка до падіння на прутки полотна транспортера-сепаратора.

Початкове положення скребка та коренеплоду показано на рис. 1.

Розглянемо систему, яка складається із двох компонентів - скребка та коренеплоду, що рухається поступально відносно поверхні скребка та обертається разом з ним відносно його осі.

Рівняння обертового руху скребка запишемо у формі

$$J_c \ddot{\beta} = -C_c (\beta - \beta_1 + \beta_H) + m_c r_c g \cos(\pi - \beta - \gamma) + N_b x_b, \quad (1)$$

де J_c - момент інерції скребка відносно точки його обертання; C_c - кутова жорсткість пружини скребка; β - максимальний кут повороту скребка відносно полотна транспортера; β_1 - початковий кут розташування відносно полотна; β_H - початковий натяг пружини скребка; γ - кут підйому полотна транспортера відносно горизонту; m_c - маса скребка; r_c - радіус центра мас скребка; g - прискорення земного тяжіння; N_b - сила тиску буряка на скребок (реакція), яка перпендикулярна до його поверхні; x_b - координата точки центра мас буряка відносно полотна транспортера.

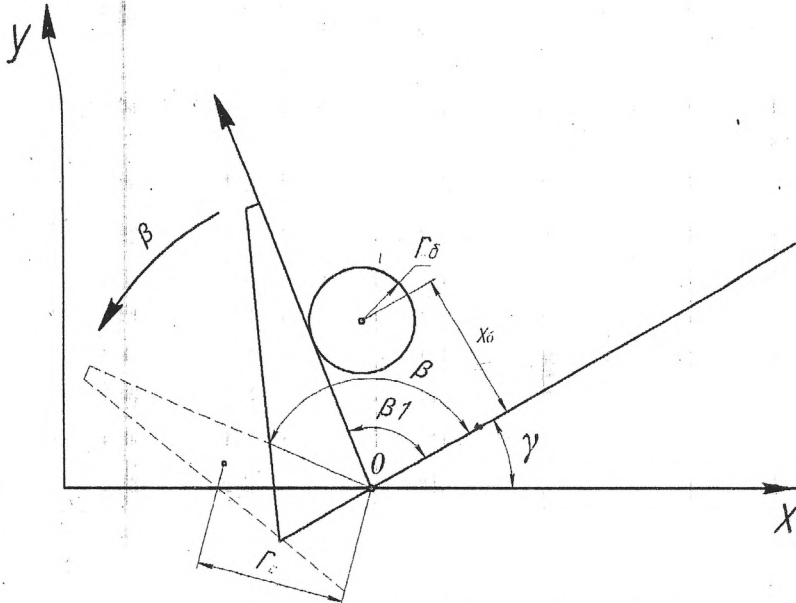


Рис. 1. Схема руху коренеплоду по поверхні скребка.

Рівняння руху буряка по поверхні скребка з урахуванням відцентрової сили інерції

$$m_b \ddot{x}_b = -N_b f - m_b g \sin(\pi - \beta - \gamma + \Delta) + m_b \dot{\beta}^2 x_b, \quad (2)$$

де m_b - маса буряка, f - коефіцієнт тертя буряка по поверхні скребка, $\Delta = \arctg(r_c / x_b)$ - кут відхилення центра мас буряка від поверхні скребка відносно точки обертання; r_c - радіус буряка.

Рівняння кутового руху буряка з урахуванням прискорення Кориоліса

$$J_b \ddot{\beta} = -N_b x_b - 2m_b x_b \dot{x}_b \dot{\beta} + m_b x_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta), \quad (3)$$

де $J_b = J_{b0} + m_b x_b^2$ момент інерції буряка відносно точки обертання; J_{b0} - власний момент інерції буряка відносно його центра мас.

З рівняння (3) визначимо величину реакції N_b

$$N_b = -[(J_{b0} + m_b x_b^2) \ddot{\beta}] / x_b - 2m_b \dot{x}_b \dot{\beta} + m_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta). \quad (4)$$

Підставимо це значення із формули (4) у вирази (1) і (2). Після перетворень отримаємо вирази для прискорень \ddot{x}_b та $\ddot{\beta}$:

$$\ddot{x}_b = \frac{(J_{b0} + m_b x_b^2) \ddot{\beta} + 2m_b \dot{x}_b \dot{\beta} - m_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta)}{m_b} f - g \sin(\pi - \beta - \gamma + \Delta) + x_b \dot{\beta}^2$$

$$\ddot{\beta} = \frac{-C_c(\beta - \beta_1 + \beta_H) + m_c r_c g \cos(\pi - \beta - \gamma) - 2m_b x_b \dot{x}_b \dot{\beta} + m_b x_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta)}{J_c + J_{b0} + m_b x_b^2}. \quad (5)$$

Для розв'язку системи нелінійних диференціальних рівнянь (5) застосуємо числовий метод Рунге-Кутта, звівши систему (5) до системи чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку за допомогою заміни

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= u; \\ \dot{x}_b &= v. \end{aligned} \quad (6)$$

В результаті отримуємо

$$\ddot{u} = \frac{(J_{b0} + m_b x_b^2) \ddot{\beta} + 2m_b \dot{x}_b \dot{\beta} - m_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta)}{m_b} f - g \sin(\pi - \beta - \gamma + \Delta) + x_b \dot{\beta}^2; \quad (7)$$

$$\dot{\beta} = u;$$

$$\dot{v} = \frac{-C_c(\beta - \beta_1 + \beta_H) + m_c r_c g \cos(\pi - \beta - \gamma) - 2m_b x_b \dot{x}_b \dot{\beta} + m_b x_b g \cos(\pi - \beta - \gamma + \Delta)}{J_c + J_{b0} + m_b x_b^2};$$

$$\dot{x}_b = v.$$

Початкові умови для розв'язку системи диференціальних рівнянь описують початковий стан механічної системи при $t = 0$:

$$\beta(0) = \beta_0; x_b(0) = x_{b0} = r_b; u(0) = \dot{\beta}(0) = 0; v(0) = \dot{x}_b(0) = 0. \quad (8)$$

У початковий момент скребок був відхилений кулачком на певний кут β_0 , а буряк лежав на поверхні полотна транспортера, тому його центр мас мав координату, що рівна радіусу буряка r_b . Перед киданням буряка система знаходилась у стані спокою, тобто швидкості рівні нулю.

Інтегрування проводитимемо до тих пір, поки кут повороту скребка досягне свого кінцевого положення $\beta = \beta_1$. В цей момент відбудеться раптова зупинка скребка, а буряк по інерції рухатиметься під дією сили тяжіння з певною початковою швидкістю V_b , яка визначається як векторна сума лінійних швидкостей по координатах β та x_b , що виражається формулою

$$\vec{V}_b = \dot{x}_b \vec{e}_x + \dot{\beta} \times \vec{x}_b,$$

або у скалярному виразі

$$V_b^2 = \dot{x}_b^2 + (x_b \dot{\beta})^2. \quad (9)$$

При цьому кут вильоту буряка відносно поверхні скребка ψ визначиться виразом $\operatorname{tg} \psi = \frac{x_b \dot{\beta}}{\dot{x}_b}$, а кут відносно горизонту

$$\psi_g = \beta_1 + \gamma - \psi. \quad (10)$$

У процесі числового інтегрування системи диференціальних рівнянь (5) визначатимемо на кожному кроці всі параметри процесу до моменту досягнення умови $\beta = \beta_1$. Отримані в кінцевий момент значення кутів, переміщень та їх швидкостей використаємо у формулах (9) та (10).

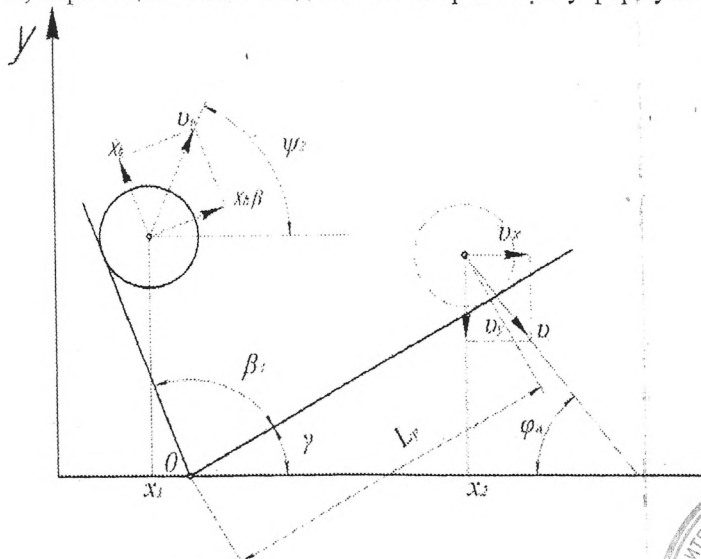


Рис. 2. Рух коренеплоду після відриву від поверхні скребка.

Координати точки центра мас буряка у системі координат, прив'язаної до точки обертання скребка та вісь x якої направлена горизонтально у напрямку руху полотна транспортера, а вісь y - вертикально, у момент відриву визначаються з рис.2 і можуть бути записані у виді

$$\begin{aligned} x_1 &= x_b \cos(\beta_1 + \gamma) + r_b \sin(\beta_1 + \gamma) \\ y_1 &= x_b \sin(\beta_1 + \gamma) - r_b \cos(\beta_1 + \gamma) \end{aligned} \quad (11)$$

Початкові швидкості в цій же системі координат визначаються

$$\begin{aligned} V_x &= V_b \cos \psi_g \\ V_y &= V_b \sin \psi_g \end{aligned} \quad (12)$$

Нехтуючи опором повітря, можна записати траєкторію руху буряка у параметричній формі по кожній із координат

$$\begin{aligned} x &= x_1 + V_x t \\ y &= y_1 + V_y t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (13)$$

Через деякий час після вильоту буряк падає на полотно транспортера, тому важливо визначити координати точки падіння та величину і напрямок швидкості у цей момент. Під час приземлення на полотно транспортера центр мас буряка буде знаходитись на лінії, паралельній полотну транспортера, але піднятий на величину радіуса буряка. Таким чином, можна описати цю можливість контакту центра мас буряка у вигляді

$$y = x \operatorname{tg} \gamma + \frac{r_b}{\cos \gamma} \quad (14)$$

Сумісний розв'язок системи (13) та рівняння (14) дасть необхідні значення координат центра мас буряка у точці падіння. Для цього виразимо з першого рівняння системи (13) час вильоту t

$$t = \frac{x - x_1}{V_b \cos \psi_g} \quad (15)$$

Підставимо у друге рівняння цієї ж системи, в результаті отримаємо вираз для координати y

$$y = y_1 - x_1 \operatorname{tg} \psi_g - \frac{gx_1^2}{2V_b^2 \cos^2 \psi_g} + x \left(\operatorname{tg} \psi_g + \frac{gx_1}{V_b^2 \cos^2 \psi_g} \right) - x^2 \frac{g}{2V_b^2 \cos^2 \psi_g} \quad (16)$$

Порівнявши вирази (14) і (16) отримаємо формулу для визначення координати центра мас буряка x_2 у момент падіння

$$x_2 = \frac{(b - \operatorname{tg} \gamma) \pm \sqrt{(b - \operatorname{tg} \gamma)^2 + 4a \left(c - \frac{r_b}{\cos \gamma} \right)}}{2a}; \quad (17)$$

$$a = \frac{g}{2V_b^2 \cos^2 \psi_g}; \quad b = \operatorname{tg} \psi_g + \frac{gx_1}{V_b^2 \cos^2 \psi_g}; \quad c = y_1 - x_1 \operatorname{tg} \psi_g - \frac{gx_1^2}{2V_b^2 \cos^2 \psi_g}$$

З визначених з формули (17) значень вибираємо більше, що відповідає точці перед скребком (менше значення відповідає точці позаду скребка).

Підставивши значення x_2 у формулу (14) отримаємо відповідну координату y_2 .

З рис. 2 видно, що відстань від скребка до точки падіння, виміряна по полотну транспортера, може бути визначена залежністю

КОЛОМІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інспектор відділу кадрів
А. В. Федоренко



$$L = \frac{x_2}{\cos \gamma} + r_b \operatorname{tg} \gamma; \quad (18)$$

а тому відстань від передньої поверхні скребка до задньої поверхні попереднього скребка для забезпечення непошкодженості коренеплодів не повинна бути меншою за величину

$$L_c > L + r_b. \quad (19)$$

Час польоту t_2 отримаємо, підставивши x_2 у формулу (15). Через відоме значення часу польоту визначимо швидкості падіння буряка

$$\begin{aligned} V_{x2} &= V_x; \\ V_{y2} &= V_y - gt_2; \\ V_n &= \sqrt{V_{x2}^2 + V_{y2}^2}. \end{aligned} \quad (20)$$

Кут, під яким падає буряк визначиться з формули

$$\operatorname{tg} \varphi_n = -\frac{V_{y2}}{V_{x2}} = \frac{gt_2 - V_y}{V_x}. \quad (21)$$

Кут падіння буряка відносно поверхні полотна транспортера рівний

$$\varphi_T = \varphi_n + \gamma. \quad (22)$$

У відповідності до кута падіння, на полотно транспортера розподіляються і складові швидкості падіння

$$\begin{aligned} V_{Tx} &= V_n \cos \varphi_T; \\ V_{Ty} &= V_n \sin \varphi_T. \end{aligned} \quad (23)$$

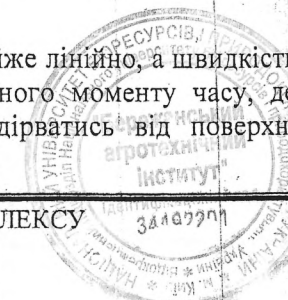
Чим менше значення складової швидкості падіння V_{Tx} , тим на менший шлях буде переміщатись буряк після падіння на полотно транспортера. Величина швидкості V_{Ty} характеризує вертикальний удар буряка в полотно транспортера і впливає на його пошкодження, хоча помірні значення цієї швидкості сприяють додатковому очищенню коренеплодів від залишків ґрунту.

На основі вищенаведеної моделі руху коренеплоду при його переміщенні за допомогою скребкового транспортера створена програма обчислень і досліджено динамічні параметри, побудовано графіки руху та виявлено вплив основних параметрів транспортера та коренеплоду на процес переміщення.

Для числових досліджень приймаємо такі середньостатистичні значення основних параметрів процесу: для буряка - маса $m_b = 1,5$ кг, момент інерції $J_b = 0,005$ кг·м², радіус $r_b = 0,05$ м, кількість буряків - 3; для скребка - маса $m_c = 4$ кг, момент інерції $J_c = 0,01$ кг·м², радіус центра мас $r_c = 0,1$ м, кут початкового розташування $\beta_1 = 90$ град, кут початкового натягу $\beta_H = 90$ град; крутильна жорсткість пружини $C_c = 30$ Нм і 100 Нм для випадків, що аналізуються; кут підйому полотна транспортера $\gamma = 40$ град; коефіцієнт тертя $f = 0,3$; кут початкового відхилення скребка відносно полотна $\beta_0 = 130$ град.

З аналізу розрахунків встановлено, що кутова швидкість зростає майже лінійно, а швидкість поздовжнього переміщення коренеплоду практично нульова до певного моменту часу, де відцентрове прискорення набуває значення, яке змушує буряк відірватися від поверхні

КОПІЯ ВІРНА



транспортера і в цей момент швидкість його поздовжнього переміщення починає зростати, що призводить до появи вертикальної складової швидкості вильоту коренеплоду. Чим більша жорсткість пружини, тим більша швидкість обертання скребка і, відповідно, більша вертикальна складова швидкості вильоту. У наведених випадках вертикальна складова у момент вильоту складала 0,19 м/с та 0,47 м/с відповідно.

Встановлено, що максимальний вплив складає зусилля пружини на початковому етапі руху, проте на кінцевому починає значно впливати зусилля від дії прискорення Кориоліса внаслідок поздовжнього руху коренеплоду, яке пригальмовує процес руху.

На базі розробленої математичної моделі проведено дослідження впливу механічних параметрів системи (мас, жорсткостей та кутів) на основні характеристики процесу транспортування - швидкість кидання, довжина польоту та швидкість падіння буряка. Проаналізовано залежність від маси буряка (з одночасною зміною радіуса та моменту інерції), жорсткості пружини, її початкової затяжки, кута відхилення скребка та кута розташування полотна транспортера. Середні значення вибирались із наведених вище (при $C_c = 100 \text{ Нм}$) і змінювались у певних межах від середнього значення.

Аналізуючи вплив маси коренеплоду на параметри процесу кидання встановлено, що збільшення маси одночасно зменшує всі характеристики, так як енергія стиснутої пружини перетворюється на кінетичну енергію коренеплоду, і чим більша маса, тим менша швидкість коренеплоду, а відповідно, і відстань кидання.

Збільшення жорсткості пружини відповідно збільшує енергію її деформації (при сталому відхиленні), що однозначно збільшує швидкість та відстань польоту коренеплоду.

Початковий натяг пружини також суттєво впливає на параметри кидання, причому швидкості та відстані аналогічно зростають (пропорційно до енергії затяжки пружини).

Висновки

На основі комплексного аналізу можна зробити однозначний висновок про те, що раціональна конструкція скребкового транспортера повинна мати параметри, які б забезпечили задану відстань кидання для певного діапазону мас коренеплодів, що може бути досягнуто зміною кута нахилу транспортера, жорсткості та початкової затяжки пружини, кута відхилення скребка.

При цьому, раціональними можна вважати такі параметри елементів сепаруючого транспортера: кут нахилу транспортера $30^\circ \dots 50^\circ$; жорсткість пружини $50 \dots 70 \text{ Нм}$; кут затяжки пружини $50^\circ \dots 70^\circ$; кут відхилення скребка $130^\circ \dots 140^\circ$.

Остаточний підбір раціональних конструктивно-кінематичних параметрів елементів доочищення сепаруючого транспортера повинно бути зроблено після проведення лабораторних та польових експериментальних досліджень з урахуванням різних розташувань коренеплодів відносно поверхні полотна та скребків.

Список літературних джерел

1. Гевко Р.Б., Павх І.І., Гладь Ю.Б., Ткаченко І.Г. Розрахунок конструктивно-кінематичних параметрів стріжкового транспортера-очисника // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. ЛДТУ.-Луцьк, 1999.-С.46-53.
2. Ткаченко І.Г., Гладь Ю.Б., Гевко Р.Б., Павелчак О.Б. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора // Міжвузівський збірник: Наукові нотатки.- Вип.7.- Луцьк: ЛДТУ.- 2000.-С.260-266.
3. Шкільнюк В., Гевко Р. Обґрунтування параметрів скребкового транспортера-очисника // Вісник ГДТУ.- Том 7.- Тернопіль, 2002.-С.53-59.
4. Маланчин А.М., Ткаченко І.Г., Павелчак О.Б. Обґрунтування конструктивних параметрів сепаруючого транспортера // Вісник Харківського державного університету сільського господарства.- Вип.23.- Харків, 2004.- С.3-9.
5. Патент №31875 Україна, МПК (2006) А01D 27/00. Транспортёр-сепаратор для коренебульбоплодів/ Фльонц І.В., Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г. (Україна) №u200713963; заявлено 12.12.2007; опубл.25.04.2008, Бюл.№8.- 3с.
6. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.-2-е изд.- Киев: Наукова думка, 1988.- 736с.

ІНЖЕНЕРНА ВІСНИК
Інспектор відділу кадрів
А.В. Федор

