

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ КОНСТРУКТИВНИМИ ТА КІНЕМАТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЩІТКИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

А.В. Войтік аспірант*

Наведено розрахунок залежності між конструктивними і кінематичними параметрами циліндричної щітки з гнучким ворсом, що має вертикальну вісь обертання, а також їх вплив на умови роботи.

Пруток ворсу, щітка, еліптичний інтеграл, зона роботи, прогин.

Виробництво посадкового матеріалу плодкових культур в Україні нині пов'язане зі значними затратами праці [1]. Однією з найбільш трудомістких операцій при вирощування клонових підщеп є розкриття кореневої системи маточних рослин та відокремлення відсадків, що складає близько 50% від загальних витрат праці протягом року. Така значна трудомісткість в першу чергу спричинена відсутністю спеціальних засобів механізації технологічного процесу. В свій час різними установами було розроблено ряд пристроїв як для відкриття кореневої системи маточних рослин, так і для відокремлення відсадків клонових підщеп. Але ці машини не знайшли широкого застосування через недоліки (недостатня ефективність роботи та пошкодження рослин).

Для їх усунення нами в Інституті садівництва УААН було розроблено машину для розкриття кореневої системи маточних рослин РВМ-1 і виготовлено її дослідний зразок. Основним робочим органом машини є циліндричні щітки з вертикальною віссю обертання. Застосування як робочих елементів щіток прутків ворсу з поліпропілену дало змогу якісно виконувати технологічний процес, зводячи до мінімуму пошкодження рослин.

Мета досліджень полягала у визначенні залежності між конструктивними (радіус щітки, довжина прутків ворсу, їх кількість) і кінематичними (швидкість руху агрегата, швидкість обертання щітки) параметрами циліндричної щітки з вертикальною віссю обертання та умовами її роботи, для встановлення оптимальних робочих параметрів.

Матеріали і методика досліджень. В основу досліджень покладено теорію згину довгих тонких стержнів при великих деформаціях [3] з використанням методу еліптичних параметрів.

Визначення рівняння руху прутка ворсу циліндричної щітки по поверхні ґрунту з урахуванням деформації прутка дасть змогу знайти залежність між робочими параметрами щітки та умовами її роботи, а також визначити вплив цих параметрів на виконання технологічного процесу.

Спочатку запишемо рівняння довжини прутка ворсу, використовуючи попередні дослідження [4]:

$$l = \int_{\psi_0}^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}} \cdot \sqrt{\frac{H}{F}}, \quad (1)$$

де l – довжина прутка ворсу, мм;

H – жорсткість прутка ворсу, $\text{H} \cdot \text{мм}^2$;

F – сила, що діє на пруток ворсу, Н;

k – модуль еліптичного інтеграла;

ψ – амплітуда еліптичного інтеграла.

Далі визначимо проекцію прутка ворсу на вісь y . При великих переміщеннях принципи незалежності дії сил є неприйнятні, оскільки їх напрям і її величина змінюються у процесі згину. На рис. 1 зобразимо ще одну систему координат $x'Oy'$ так, щоб вісь y' була паралельною напрямку дії сили F . Згідно з [3] маємо:

$$\frac{y'-y'_0}{l} = \frac{2}{\beta} (E(\psi) - E(\psi_0)) - \frac{s}{l} \quad (2)$$

$$\frac{x'-x'_0}{l} = \frac{2}{\beta} k(\cos\psi_0 - \cos\psi),$$

де β – силовий коефіцієнт подібності;

y' та x' – координати кінця прутка ворсу за осями, що відцентровані в напрямку дії сили F , м;

y'_0 та x'_0 – координати початку прутка ворсу за осями, що відцентровані в напрямку дії сили F , м;

$E(\psi)$ та $E(\psi_0)$ – еліптичний інтеграл Лежандра другого роду.

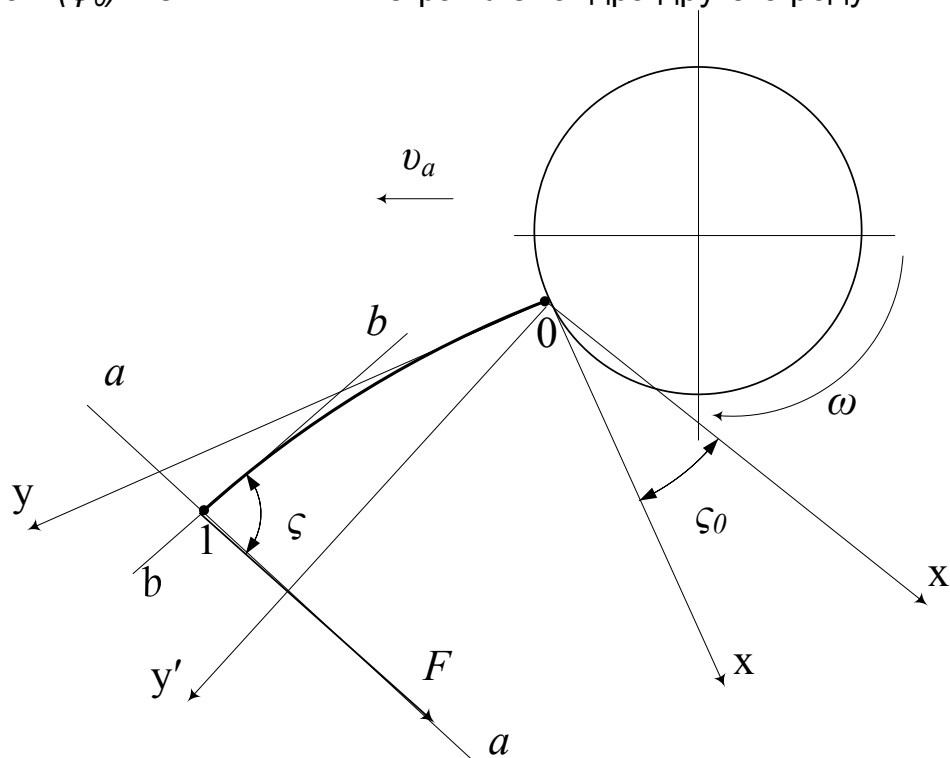


Рис. 1. Схема для розрахунку прогину прутка ворсу

У нашому випадку координати y'_0 та x'_0 дорівнюють нулю, а $s=l$. Звідси матимемо:

$$\frac{y'}{l} = \frac{2}{\beta} \left(\int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \cdot d\psi \right) - 1 \quad (3)$$

$$\frac{x'}{l} = \frac{2}{\beta} k(\cos\psi_0 - \cos\psi).$$

Далі знайдемо координати точки 1 кінця прутка ворсу з рівняння (3) пружної лінії. Враховуючи, що координата y_1 кінця прутка ворсу дорівнює

$$y_1 = y' \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) + x' \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right), \quad (4)$$

матимемо таку формулу для її визначення:

$$y_1 = \left(\left(\frac{2}{\beta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \cdot d\psi - 1 \right) \cos \zeta_0 + \frac{2}{\beta} k \cos \psi_0 \sin \zeta_0 \right) \cdot l. \quad (5)$$

Визначимо величину прогину прутка ворсу Δl

$$\Delta l = l - y_1. \quad (6)$$

Якщо винести l за дужки отримаємо:

$$\Delta l = l \left(1 - \left(\left(\frac{2}{\beta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \cdot d\psi - 1 \right) \cos \zeta_0 + \frac{2}{\beta} k \cos \psi_0 \sin \zeta_0 \right) \right). \quad (7)$$

Підставивши в рівняння (7) рівняння (1) довжини прутка ворсу матимемо

$$\Delta l = \int_{\psi_0}^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}} \cdot \sqrt{\frac{H}{F}} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{\beta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \cdot d\psi - 1 \right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) + \frac{2}{\beta} k \cos \psi_0 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) \right). \quad (8)$$

Координата x_1 кінця прутка ворсу дорівнює:

$$x_1 = x' \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) - y' \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right). \quad (9)$$

Підставивши значення y' та x' отримаємо:

$$x_1 = \left(\left(\frac{2}{\beta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \cdot d\psi - 1 \right) \cos \zeta_0 - \frac{2}{\beta} k \cos \psi_0 \sin \zeta_0 \right) \cdot l. \quad (10)$$

Розглянемо роботу щітки (рис. 2). Пруток ворсу 1 під час руху по ґрунту описує траєкторію ОА. Після контакту з його поверхнею в точці О сила F опору переміщенню прутка зростає і досягає максимального значення в точці А. Відповідно до зростання сили опору переміщенню збільшується і прогин прутка ворсу. При досягненні прутком точки А сила F різко зменшується і пруток різким рухом випрямляється. Траєкторія ОА, яку описує пруток у своєму абсолютному русі, буде залежати від поступальної швидкості u_a руху машини та від швидкості обертання ω щітки.

ворсу. Зробимо припущення, що ордината кінця прутка ворсу в точці С $y_c = \delta_o$, δ_o – відстань від осі обертання щітки до поверхні ґрунтового валка, запишемо:

$$\delta_i \approx y_c = R_{\dot{u}} (1 - \cos(\omega t_c - \alpha_{\dot{a}})) - y_c^*, \quad (15)$$

де t_c – час, в який кінець прутка ворсу 2 буде знаходитись в точці С, с;
 y_c^* – проекція величини відхилення CD прутка ворсу в наслідок прогину на вісь у, м.

З рівняння (15) одержимо:

$$t_c = \frac{1}{\omega} \left(\arccos \left(1 - \frac{\delta_i + y_c^*}{R_{\dot{u}}} \right) + \alpha_{\dot{a}} \right). \quad (16)$$

Тоді

$$x_c = v_{\dot{a}} t_c + R_{\dot{u}} \sin(\omega t_c - \alpha_{\dot{a}}) - x_c^*, \quad (17)$$

де x_c^* – проекція величини відхилення CD прутка ворсу внаслідок прогину на вісь х, м.

Використавши заміну [2]:

$$\sin(\omega t_c - \alpha) = \frac{1}{R_{\dot{u}}} \sqrt{R_{\dot{u}}^2 - \delta_o^2}, \quad (18)$$

одержимо

$$\begin{aligned} S_{\dot{u}} &= \frac{v_{\dot{a}}}{\omega} \left(\arccos \left(1 - \frac{\delta_i + y_c^*}{R_{\dot{u}}} \right) + \alpha_{\dot{a}} \right) + \sqrt{R_{\dot{u}}^2 - \delta_i^2} - x_c^* - \frac{v_{\dot{a}}}{\omega} \alpha_{\dot{a}} = \\ &= \frac{v_{\dot{a}}}{\omega} \left(\arccos \left(1 - \frac{\delta_i + y_c^*}{R_{\dot{u}}} \right) \right) + \sqrt{R_{\dot{u}}^2 - \delta_i^2} - x_c^* \end{aligned} \quad (19)$$

Рівняння (19) дає можливість визначити зону роботи щітки з урахуванням прогину прутків ворсу в процесі роботи.

Значення x_c^* та y_c^* можна знайти з трикутника CDE (див. рис. 2), де CF – проекція прутка ворсу x_1 , а FD – величина його прогину Δl .

З трикутника CDE маємо:

$$x_c^* = CD \sin \alpha_k \quad (20)$$

$$y_c^* = CD \cos \alpha_k,$$

де α_k – кут між сторонами CD та CE.

$$CD = \sqrt{CF^2 + FD^2} = \sqrt{x_1^2 + \Delta l^2}; \quad (21)$$

$$\alpha_k = 180 - \arctg \frac{x_1}{\Delta l} - \omega t_c. \quad (22)$$

Враховуючи рівняння (21) і (22) отримаємо:

$$x_c^* = \sqrt{x_1^2 + \Delta l^2} \sin(180 - \arctg \frac{x_1}{\Delta l} - \omega t_c); \quad (23)$$

$$y_c^* = \sqrt{x_1^2 + \Delta l^2} \cos(180 - \arctg \frac{x_1}{\Delta l} - \omega t_c). \quad (24)$$

Рівняння (19) з урахуванням формул (23) і (24) матиме вигляд

$$S_{ii} = \frac{v_a}{\omega} \arccos \left(1 - \frac{\delta_i + \sqrt{x_1^2 + \Delta l^2} \cos \left(180 - \arctg \frac{x_1}{\Delta l} - \alpha \right)}{R_{ii}} \right) + \quad (25)$$

$$+ \sqrt{R_{ii}^2 - \delta_i^2} - \sqrt{x_1^2 + \Delta l^2} \sin \left(180 - \arctg \frac{x_1}{\Delta l} - \alpha \right)$$

Розглянемо роботу щітки від точки В до точки С (рис. 2). Цей проміжок є зоною роботи щітки S , в якій вона має видалити шар ґрунту товщиною h .

$$h = R_{ii} - \delta_0, \quad (26)$$

де h – товщина шару ґрунту, що видаляється щіткою, м.

Визначимо кут φ , на який повернеться щітка, проходячи відстань ВС:

$$\varphi = S \frac{\omega}{v_a}. \quad (27)$$

Робота щітки вважається ефективною тоді, якщо повністю видаляється шар ґрунту товщиною h . Оскільки кожен пруток ворсу знімає шар ґрунту товщиною b , визначимо необхідну кількість прутків ворсу z_φ , що мають пройти на відріжку ВС, щоб забезпечити ефективну роботу щітки:

$$z_\varphi = \frac{S_{ii} h B \rho}{W_i}, \quad (28)$$

де W_i – продуктивність одного прутка ворсу, кг.

Результати досліджень. Для забезпечення виконання технологічного процесу відкриття кореневої системи щіткою її ворс повинен ефективно видаляти ґрунт за всією висотою валка, що вкриває рослини, в будь-який момент.

Якщо ширина прутка ворсу a , висота ґрунтового валка B , то можна записати формулу для визначення загальної кількості прутків ворсу на щітці для її ефективної роботи:

$$z_\varphi = z_\varphi \frac{2\pi}{\varphi} = \frac{2\pi n_i h H_{ii} v_a \rho}{K_r \omega W_i}, \quad (29)$$

де n_i – коефіцієнт перекриття ворсом поверхні валка, що обробляється;

K_r – коефіцієнт рівномірності розташування ворсу на щітці.

Коефіцієнт перекриття n_i вводиться в зв'язку з тим, що в процесі експлуатації щітки кількість ворсу зменшується (випадіння ворсу внаслідок дефектів його виготовлення та монтажу), тому іноді потрібна повторна дія прутка ворсу на поверхню.

Через неможливість розташування прутків ворсу рівномірно на всій поверхні маточини та враховуючи те, що ворс закріплюється пучками, потрібно вводити коефіцієнт рівномірності K_r . Така нерівномірність призводить до утворення на поверхні щітки скупчень ворсу і пустот, що значно зменшує ефективність роботи.

Отже, рівняння (25) та (29) дають змогу встановити залежності між конструктивними, кінематичними параметрами циліндричної щітки з вертикальною віссю обертання та умовами її роботи, які дозволяють визначити оптимальні робочі параметри для забезпечення якісного виконання технологічного процесу відкриття кореневої системи маточних рослин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.В. Войтік, І.С. Привалов, С.Г. Фришев Порівняльна оцінка технологій розкриття та відокремлення відсадків клонових підщеп // Науковий вісник НАУ. – 2005. – №80. – С. 62-66.
2. Заїка Л.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том II. Частина 1. Машини для заготівлі кормів. – Харків: Око, 2003. – 360 с.
3. Попов Е.П. Теория и расчет гибких и упругих стержней. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
4. С.Г. Фришев, А.В. Войтік Взаємодія з ґрунтом прутка ворсу циліндричної щітки машини для розкриття кореневої системи маточних рослин клонових підщеп // Науковий вісник НАУ. – 2005. – №91. – С. 193-197.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВНЫМИ И КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЩЁТКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

А.В. ВОЙТИК, аспирант

Приведен расчет зависимости между конструктивными и кинематическими параметрами цилиндрической щетки с гибки ворсом, которая имеет вертикальную ось вращения, а также их влияние на условия работы.

Пруток ворса, щетка, эллиптический интеграл, зона работы, прогиб.

DETERMINATION OF DEPENDENCE BETWEEN CONSTRUCTIVE AND KINEMATIC PARAMETERS OF CYLINDRICAL BRUSH WITH VERTICAL AXIS OF ROTATION

A.V. Voytik, post-graduate student

Calculation of dependence between constructive and kinematic parameters of a cylindrical brush with flexible pile, which has a vertical axis of rotation, and also their influence on operating conditions have been resulted.

Bar puyok pile, a brush, elliptic integral, a zone of work, a deflection.