

УДК 631.17; 633.1

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісуючого барабану жнивarki****О.В. Козаченко<sup>1</sup>, А.М. Пахучий<sup>2</sup>, С.О. Дьяконов<sup>3</sup>, В.В. Гончаров<sup>4</sup>**<sup>1,4</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка (м. Харків, Україна), [O.V.Kozachenko21@gmail.com](mailto:O.V.Kozachenko21@gmail.com)<sup>2,3</sup> Харківський національний аграрний університет ім.В.В.Докучаєва (м. Харків, Україна), [andreyi09773@gmail.com](mailto:andreyi09773@gmail.com), [dsa1977oct@gmail.com](mailto:dsa1977oct@gmail.com)

Вирішення проблеми підвищення ефективності зернозбиральної техніки, зокрема, з використанням при прямому комбайнуванні жниварок обчісуючого типу, передбачає побудову схеми технологічного процесу та розрахунок раціональних конструктивних параметрів, що зумовлюють якісне виконання процесу збирання рослин на корені.

В статті викладені результати теоретичних досліджень обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісуючого барабану жнивarki для збирання льону олійного із врахуванням фізико-механічних властивостей стебла рослин, які визначають їх поведінку під впливом механічних сил, що виникають під час взаємодії з робочими органами обчісуючого пристрою.

Технологічний процес збирання насіння льону олійного, що виконується комбайнами, повинен враховувати дані по врожайності, фізико-механічні властивості рослин (стебла та насіння), вимоги щодо кінцевого продукту за формою та якістю та продуктивність зазначеного процесу. Під час збирання комбайном рослини піддаються різним механічним напруженням (розтягуванням, стискуванню, згинанням, зсувам та ін.) що необхідно враховувати при моделюванні процесу.

Поведінка рослин під час виконання технологічного процесу збирання є результатом поєднання їх пружно-пластичних властивостей матеріалу, властивостей гранульованого матеріалу та ньютонівських характеристик потоку рідини. Така поведінка, що включає складні взаємодії та нелінійні зв'язки, ускладнює застосування або адаптацію відомих теорій однорідних матеріалів, а також розробку надійних теорій. Таким чином, складним процесом є математичне моделювання зазначених властивостей для подальшого використання їх в моделюванні процесів оптимізації та керування.

В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії рослини льону олійного з обчісуючим барабаном жнивarki на основі теорії коливань, отримано динамічну функцію зміни кривизни стебла в залежності від його реологічних властивостей і встановлені конструктивні параметри барабану, а саме, значення радіусів  $R_{out} = 0,28$  м,  $R_{in} = 0,22$  м, координат центру  $u_c = 0,28$  м і  $x_c = 0,52$  м і кількості обчісуючих гребінок  $j = 8$  шт. Зроблені відповідні висновки щодо отриманих результатів теоретичних досліджень.

**Ключові слова:** жнивarka обчісуючого типу, процес обчісування, обчісуючий барабан, обчісуюча гребінка

**Постановка проблеми.** Сучасні технології збирання сільськогосподарських культур передбачають застосування методу обчісування рослин на корені, що зумовлює отримання позитивного ефекту за рахунок збільшення продуктивності комбайну, можливості збирання низькорослих культур, зменшення втрат врожаю та витрат паливно-мастильних матеріалів [1-5].

Вирішення проблеми підвищення ефективності зернозбиральної техніки, зокрема, з використанням на прямому комбайнуванні жниварок обчісуючого типу, передбачає побудову схеми технологічного процесу та розрахунок раціональних конструктивних параметрів, що зумовлюють якісне виконання процесу.

При цьому, незважаючи на те, що сучасні технології досягли належного рівня, недоліки збирання деяких перспективних культур, в тому

числі й льону олійного, є наявними й досі, що зумовлено їх морфологічними особливостями[6,7]. Такий стан спонукає до необхідності в дослідженні процесу обчісування льону олійного та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів жнивarki.

Теоретичне модулювання процесів обчісування дозволяє, з певними припущеннями, отримати раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів робочих органів та скоротити час, що необхідний для удосконалення існуючих та розробки нових технічних засобів. Внаслідок введення спрощень в теорію, деякі явища, що супроводжують обчісування, випадають із розгляду або враховують досить наближено, тому розробка більш досконалих моделей обчісування є на сьогодні актуальною задачею сільськогосподарського машинобудування.

**Аналіз публікацій і досліджень.** Питання підвищення ефективності обчісуючих пристроїв розглянуто в роботах [8-16] та ін. У них викладено результати теоретичних і експериментальних досліджень обчісуючих пристроїв різних конструкцій. Однак, найбільшого застосування у світовій практиці отримали двобарабанні обчісуючі пристрої внаслідок забезпечення необхідної якості роботи. Слід відмітити, що у більшості зазначених вище робіт при теоретичному обґрунтуванні їх конструктивних і кінематичних параметрів недостатньо точно й повно враховано властивості культур, що збираються, напрям і модуль робочої швидкості поступального руху, взаємодія стебельної частини врожаю з обчісуючим барабаном пристрою.

Таким чином, дотепер не створені необхідні математичні моделі, які могли б бути покладені в основу розрахунків і проектування будь-якого типу обчісуючих жниварок для збирання сільськогосподарських культур.

**Мета дослідження.** Теоретично дослідити процес взаємодії рослин льону олійного з обчісуючим барабаном жниварки і встановити його конструктивні параметри.

**Основний матеріал досліджень.** Взаємодію стебла льону олійного з обчісуючим барабаном жниварки будемо розглядати після його взаємодії з обтікачем (рис.1), припускаючи, що коливання відбуваються в одній головній площині стебла рослини, коли матимемо справу з плоским вигином.

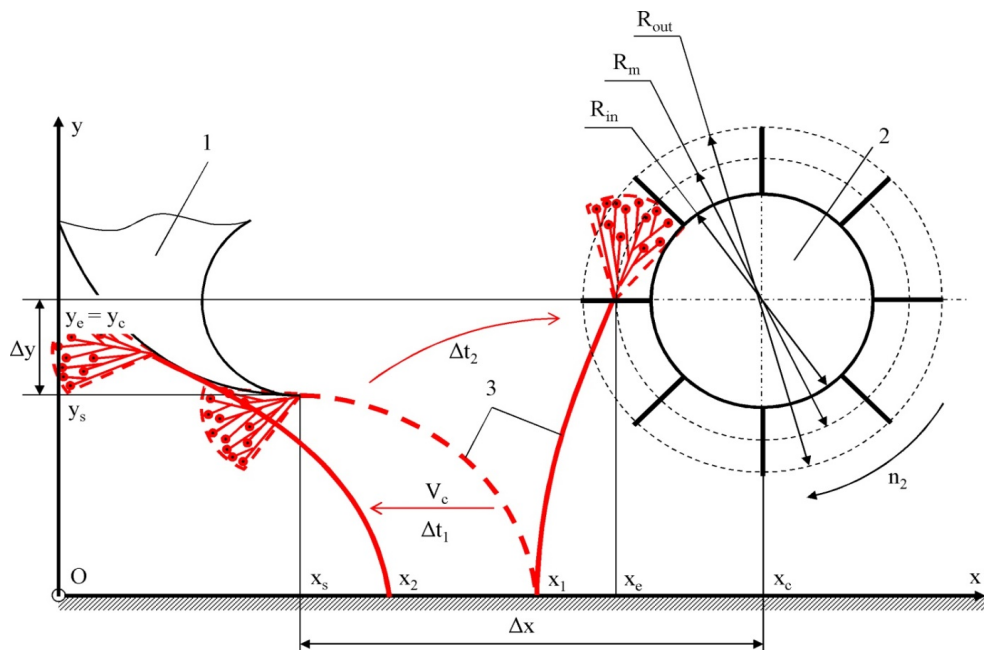


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії стебла рослини льону олійного із обчісуючим барабаном: 1 – обтікач жниварки; 2 – обчісуючий барабан; 3 – стебло рослини льону олійного

Площину вигину приймемо за координатну площину  $xOy$ . При складанні диференціального рівняння руху будемо виходити з припущення, що поперечні розміри стебла малі у порівнянні з його довжиною. У такому випадку при вивченні перших (найбільш низьких) типів коливань можна користуватися наближеним рівнянням для зігнутої осі:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M, \quad (1)$$

звідки подвійним диференціюванням отримуємо

$$\frac{d^2}{dx^2} \left( EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q, \quad (2)$$

де  $q$  – інтенсивність суцільного навантаження, Н/м.

Стебло рослини виконує згасаючі коливання, тому при складанні рівняння його руху необхідно взяти до уваги сили інерції і сили опору повітря:

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{h_t} \left( -m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \eta \frac{\partial y}{\partial t} - P - G_I - G_{II} \right) = \\ &= -\frac{G_I + G_{II}}{gh_t} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\eta}{h_t} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\pi^2 EI}{4h_t^3} - \frac{G_I + G_{II}}{h_t} = \\ &= -\frac{m}{h_t} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\eta}{h_t} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\pi^2 EI}{4h_t^3} - \frac{mg}{h_t}, \quad (3) \end{aligned}$$

де  $h_t$  – довжина стебла, м;  $m$  – маса рослини, кг;  $\eta$  – коефіцієнт опору повітря, Н·с/м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Прирівнюючи (2) і (3) отримуємо диференціальне рівняння в часткових похідних:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{m}{h_t EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\eta}{h_t EI} \frac{\partial y}{\partial t} + \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) y = 0. \quad (4)$$

Приймаючи до уваги початкові і граничні умови згідно рисунку 1.

$$\begin{cases} y(x_1, 0) = 0, \\ \frac{\partial}{\partial t} y(x_1, 0) = 0, \\ y(x_s, 0) = y_s, \\ \frac{\partial}{\partial x} y(x_s, 0) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

рішення рівняння (4) представимо у вигляді ряду Фур'є:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \cdot \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \quad (6)$$

де  $T_n(t)$  – бажана функція часу;  $K_1, K_2$  – постійні інтегрування;  $i$  – натуральне число.

Взявши відповідні похідні від функції (6)

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \sum_{i=1}^{\infty} \dot{T}_i(t) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right),$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^{\infty} \ddot{T}_i(t) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \frac{\pi^4 i^4}{h_t^4} \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right),$$

представивши вільний член рівняння (4) у вигляді ряду Фур'є

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) = \\ & = \sum_{i=1}^{\infty} f_i(t) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \\ f_n(t) & = \frac{2}{h_t} \int_0^{h_t} \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i s}{h_t}\right) + \right. \\ & \left. + K_2 \cos\left(\frac{\pi i s}{h_t}\right) \right) ds = \frac{2}{h_t} \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) \times \\ & \times \frac{h_t}{\pi i} \left( -K_1 \cos\left(\frac{\pi i s}{h_t}\right) + K_2 \sin\left(\frac{\pi i s}{h_t}\right) \right) \Big|_0^{h_t} = \\ & = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i), \end{aligned} \quad (8)$$

і підставивши отримані вирази у рівняння (4) отримуємо

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \frac{\pi^4 i^4}{h_t^4} \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \frac{m}{h_t EI} \sum_{i=1}^{\infty} \ddot{T}_i(t) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \frac{\eta}{h_t EI} \sum_{i=1}^{\infty} \dot{T}_i(t) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i) \times \\ & \times \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right) = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Звідки після скорочення і перетворення отримуємо звичайне диференціальне рівняння другого порядку

$$\begin{aligned} & \frac{m}{h_t EI} \ddot{T}_i(t) + \frac{\eta}{h_t EI} \dot{T}_i(t) + \frac{\pi^4 i^4}{h_t^4} T_i(t) + \\ & + \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i) = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \ddot{T}_i(t) + \frac{\eta}{m} \dot{T}_i(t) + \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3} T_i(t) + \\ & + \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Як відомо з [17] рішенням рівняння

$$\ddot{T}_i(t) + A\dot{T}_i(t) + BT_i(t) + C = 0. \quad (12)$$

є складна експоненціальна функція

$$\begin{aligned} T_i(t) & = -\frac{C}{B} + D_1 e^{\frac{1}{2}(-A-\sqrt{A^2-4B})t} + D_2 e^{\frac{1}{2}(-A+\sqrt{A^2-4B})t}, \\ A & = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3}, \\ C & = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i). \end{aligned} \quad (13)$$

Тоді у загальному випадку функція зміни кривизни стебла рослини льону олійного під час його коливання має вигляд

$$\begin{aligned} y & = \sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A-\sqrt{A^2-4B})t} + \right. \\ & \left. + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A+\sqrt{A^2-4B})t} \right) \times \\ & \times \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \end{aligned} \quad (14)$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

Підставляючи (14) у систему початкових і граничних умов (5) отримуємо систему рівнянь, з яких можна визначити значення констант інтегрування  $K_1$  і  $K_2$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \times \\ \times \left( K_1 \sin \left( \frac{\pi i x_1}{h_t} \right) + K_2 \cos \left( \frac{\pi i x_1}{h_t} \right) \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \times \\ \times \left( K_1 \sin \left( \frac{\pi i x_s}{h_t} \right) + K_2 \cos \left( \frac{\pi i x_s}{h_t} \right) \right) = y_s \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{D_1}{2} (-A - \sqrt{A^2 - 4B}) + \right. \\ \left. + \frac{D_2}{2} (-A + \sqrt{A^2 - 4B}) \right) \times \\ \times \left( K_1 \sin \left( \frac{\pi i x_1}{h_t} \right) + K_2 \cos \left( \frac{\pi i x_1}{h_t} \right) \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \times \\ \times \left( K_1 \frac{\pi i}{h_t} \cos \left( \frac{\pi i x_s}{h_t} \right) - K_2 \frac{\pi i x_s}{h_t} \sin \left( \frac{\pi i x_s}{h_t} \right) \right) = 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

Проведемо розрахунок часу  $\Delta t_2$ , який необхідний для зміщення стебла від початкового положення до максимально можливого відносно осі коливання. Для цього будемо вирішувати рівняння  $\partial y / \partial t = 0$ :

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left( \frac{D_1}{2} (-A - \sqrt{A^2 - 4B}) e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} + \right.$$

$$\left. + \frac{D_2}{2} (-A + \sqrt{A^2 - 4B}) e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} \right) \times$$

$$\times \left( K_1 \sin \left( \frac{\pi i x}{h_t} \right) + K_2 \cos \left( \frac{\pi i x}{h_t} \right) \right) = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})} = e^{\Delta t_2 \sqrt{A^2 - 4B}} \Rightarrow$$

$$\Delta t_2 = \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})}, \quad (16)$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

Підставляючи отримане рішення (16) у вираз (14) і вирішуючи рівняння  $\partial y / \partial x = 0$  остаточно маємо координати максимально відхиленого стебла від початкового положення:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} + \right.$$

$$\left. + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} \right) \times$$

$$\times \left( \frac{K_1 \pi i}{h_t} \cos \left( \frac{\pi i x_e}{h_t} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{K_2 \pi i}{h_t} \sin \left( \frac{\pi i x_e}{h_t} \right) \right) = 0, \quad (17)$$

$$y_e = y(x_e),$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

В зв'язку із складністю аналітичного вирішення рівнянь (15) і (17) приймаючи відповідні значення констант з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica отримуємо графіки залежності часу  $\Delta t_2$ , координат верхньої частини стебла  $x_e$  і  $y_e$  від його технічної висоти  $h_t$  в діапазоні 0,3-0,4 м і густоти стояння рослин  $N$  в діапазоні 60-80 шт/м (рис. 2-4).

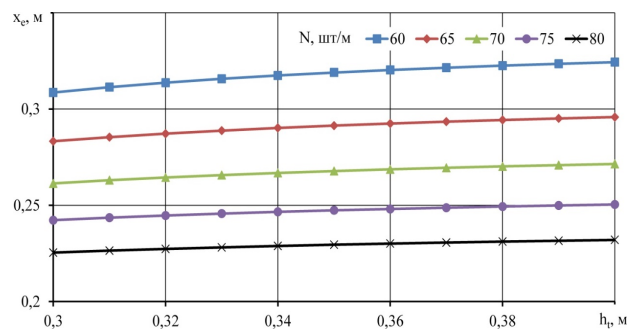


Рис. 2. Залежність значення координати верхньої частини стебла  $x_e$  від його технічної висоти  $h_t$  і густоти стояння рослин  $N$

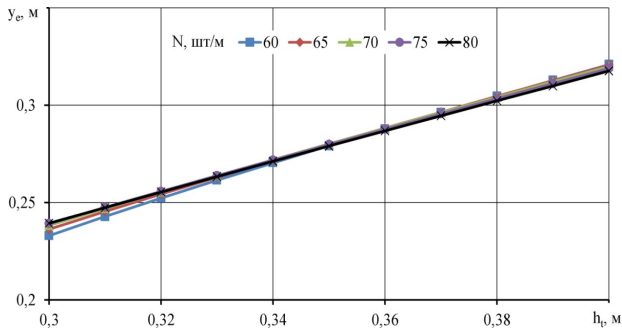


Рис. 3. Залежність значення координати верхньої частини стебла  $y_e$  від його технічної висоти  $h_t$  і густоти стояння рослин  $N$

Аналіз графіків на рис. 2-4 показує, що значення координат верхньої частини стебла  $x_e$  і  $y_e$  змінюються в діапазонах 0,22-0,32 м і 0,22-0,32 м відповідно. Приймаючи середнє значення  $x_e = 0,27$  м і  $y_e = 0,28$  м згідно рисунку 1 отримуємо значення радіусів обчисуючого барабану  $R_{out} = y_e$

$= 0,28$  м,  $R_m = R_{out} - b_p/2 = 0,25$  м,  $R_{in} = R_{out} - b_p = 0,22$  м, координат центру  $y_c = y_e = 0,28$  м і  $x_c = x_e + R_m = 0,52$  м.

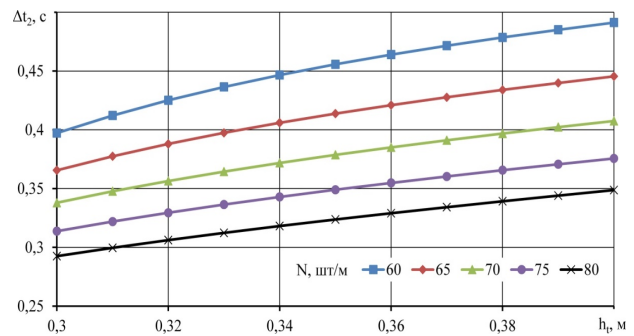


Рис. 4. Залежність значення часу  $\Delta t_2$  від його технічної висоти  $h_t$  і густоти стояння рослин  $N$

Розглянемо процес переміщення точки, яка знаходиться на радіусі  $R_{in}$  обчисуючого барабану (рис. 5).

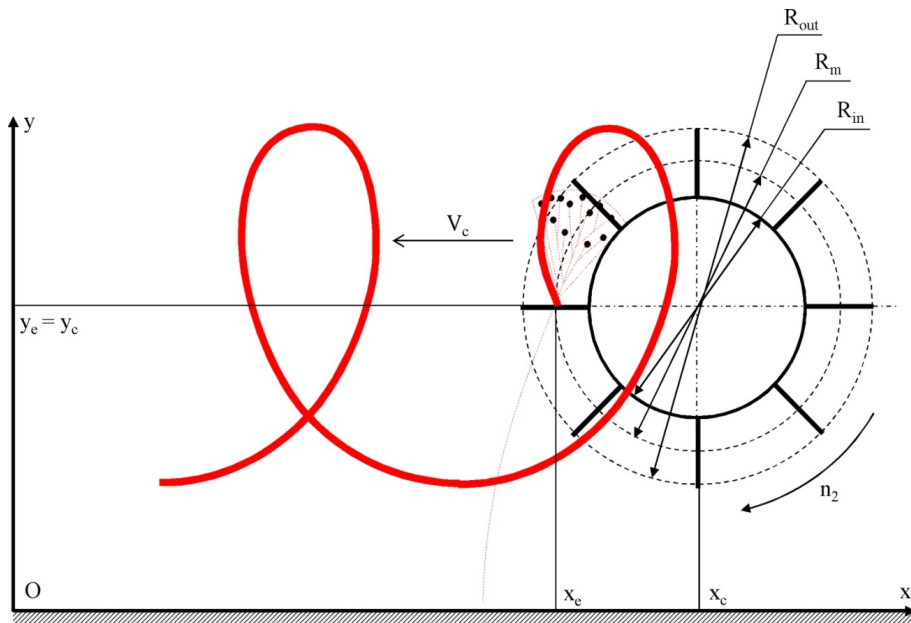


Рис. 5. Розрахункова схема процесу переміщення обчисуючого барабану

Обчисуючий барабан виконує одночасно поступальний і обертальний рух, рівняння руху якого можна представити у вигляді системи

$$\begin{cases} x = x_c + V_c t + R_{in} \cos \omega_2 t, \\ y = y_c + R_{in} \sin \omega_2 t, \end{cases} \quad (18)$$

де  $V_c$  – лінійна швидкість центру обчисуючого барабану (комбайна), м/с;  $\omega_2$  – кутова швидкість обертання обчисуючого барабану, рад/с:

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30}, \quad (19)$$

$n_2$  – частота обертання обчисуючого барабану, об/хв.

Згідно рисунку 1 між очісуванням рослин проходить час  $\Delta t_1$ , який характеризується відстанню між рослинами і лінійною швидкістю центра обчисуючого барабану

$$\Delta t_1 = \frac{1}{N \cdot V_c}, \quad (20)$$

і час  $\Delta t_2$ , який є вже визначеним (16) і характеризує час згинання стебла рослини в результаті

його коливання:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{1}{N \cdot V_c} + \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2(A - \sqrt{A^2 - 4B})}, \quad (21)$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

За час  $\Delta t$  обчислююча гребінка повертається на кут (рад)

$$\beta = \Delta t \cdot \omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} \left( \frac{1}{N \cdot V_c} + \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2(A - \sqrt{A^2 - 4B})} \right), \quad (22)$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3},$$

$$C = \frac{2K_1}{\pi i} \left( \frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

Графічна інтерпретація залежності (22) представлено на рисунку 6.

Кількість обчислюючих гребінок на барабані можна визначити за наступною формулою:

$$j = \frac{360}{\beta}. \quad (23)$$

На рис. 7 зображено залежність кількості обчислюючих гребінок на барабані від кінематичного коефіцієнту, який визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\omega_2}{V_c} = \frac{\pi \cdot n_2 \cdot R_{in}}{30 \cdot V_c}. \quad (24)$$

Згідно отриманих результатів дослідження, що представлені на рисунках 6 і 7 можна стверджувати, що найбільша кількість обчислюючих гребінок в заданому діапазоні варіювання режимними параметрами обчислюючого барабана жниварки складає  $j = 8$  шт.

#### Висновки.

В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії рослини льону олійного з обчислюючим барабаном на основі теорії коливань, отримано динамічну функцію зміни кривизни її стебла і встановлені конструктивні параметри барабана, а саме значення радіусів  $R_{out} = 0,28$  м,  $R_{in} = 0,22$  м, координат центру  $y_c = 0,28$  м і  $x_c = 0,52$  м і кількості обчислюючих гребінок  $j = 8$  шт.

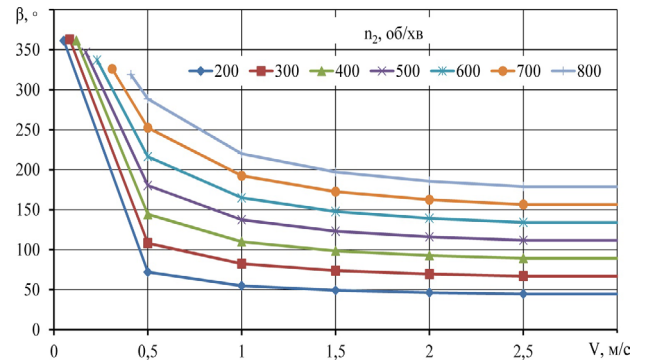


Рис. 6. Залежність кута повертання обчислюючої гребінки  $\beta$  від частоти обертання обчислюючого барабану  $n_2$  і його лінійної швидкості  $V_c$

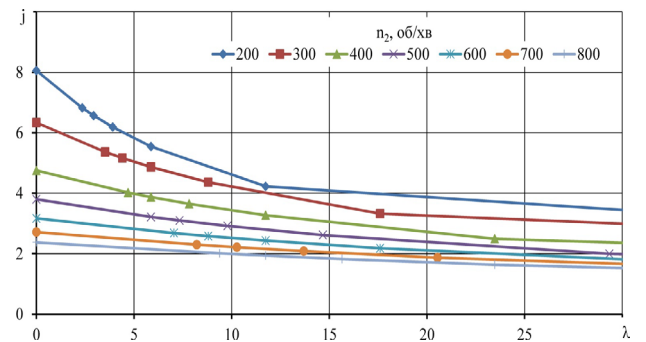


Рис. 7. Залежність кількості обчислюючих гребінок  $j$  на барабані від кінематичного коефіцієнту  $\lambda$

#### Література

1. Погорельый Л.В. Прогноз развития технологий и техники для уборки зерновых культур на первую четверть XXI века / Л.В. Погорельый, С.Н. Коваль // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. док. междунар. науч.-технич. конф. – Мелитополь: ТГАТА, 2003. – С. 17-21.
2. Сысолин П.В. Проблемы и перспективы внедрения в Украине технологии уборки зерновых колосовых культур методом очесывания колосков / П.В. Сысолин, И. Иваненко // Техника АПК. – 2008. – № 5. – С.24-29.
3. Леженкин А.Н. Технология уборки зерновых методом очеса растений на корню: состояние и перспективы / А.Н. Леженкин, В.И. Кравчук, А.С. Кушнарев. – Дослідницькое. – 2010. – С. 40-44.
4. Леженкин А.Н. Механизация уборки зерновых культур с использованием очесывающих устройств: монография / А.Н. Леженкин. – СПб: СПбГАУ, 2005. – 332 с.
5. Шварцман М.Е., Тимченко А.В. Уборка урожая колосовых культур методом обмолота расте-

ний на корню жаткой двухбарабанной очёсывающего типа «Славянка УАС». – Электрон. Дан. – 2014. – Режим доступа: <http://ukragro-serv.com.ua>.

6. Борисоник З.Б. Справочник по масличным культурам / З.Б. Борисоник. – К.: Урожай, 1988. – 167 с.

7. Сай В.А. Технологія вирощування, збирання та первинної переробки льону олійного / В.А. Сай. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – 168 с.

8. Гончаров Б.И. Исследование рабочего процесса очёсывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна. Автореф. дис. канд. техн. наук, М., 1982. – 17 с.

9. Бурьянов М.А. Оценка новых нетрадиционных технологий уборки зерновых колосовых культур / А.И. Бурьянов, А.И. Дмитренко, М.А. Бурьянов // Техника и оборудование для села. – 2010. – №10. – С. 16-19.

10. Косилов Н.И., Моисеенко О.В. Параметры и режимы работы рабочих органов жатвенной машины для уборки колосовой части урожая // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2006, №6, с.9-11.

11. Алакин В. М. Кинематические характеристики однобарабанного очёсывающего адаптера / В. М. Алакин, В. Ю. Савин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – №11. – С. 7-8.

12. Голубев И.К. Обмолот риса на корню двухбарабанным очёсывающим устройством / Б.И. Гончаров, П.Л. Шабанов, Н.К. Самофалов и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 2. – С35-38.

13. Сисолин П.В., Мороз М.М. Визначення робочого діапазону колової швидкості гребінки обчісуючого барабану // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів. – 1999. – С. 112-115.

15. Машков О.М. Теоретичне обґрунтування параметрів бітера-відбивача очісуючого пристрою // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв. – 1999. – Вип. 2 (7). – С. 156-161.

16. Погорелый Л., Теоретические и экспериментальные исследования очёсывающих жаток / Л. Погорелый, С. Коваль, Г. Макушин // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Зб. наук, праць / УкрНДІПВТ. – Вип. 3(17). – Дослідницьке, 2000. – С. 14-20.

17. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. Издательство «Наукова думка». Киев. 1972. – 508 с.

## References

1. Pogorely, L.V. and Koval, S.N. (2003), "Forecast of development for harvesting grain crops technologies and equipment in the first quarter of the XXI century", *Perspektivnye tehnologii uborki zernovyh kul'tur, risa i semjan trav* [Promising technologies for harvesting grain crops, rice and grass seed],

*Sbornik докладov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Collection of reports of the international scientific and technical conference], TAGATA, Melitopol, Ukraine, pp. 17-21.

2. Sysolin, P.V. and Ivanenko, I. (2008), "Problems and prospects of the introduction in Ukraine of the technology of harvesting cereal crops by the method of combing the spikelet", *Tehnika APK*, vol. 5, pp. 24-29.

3. Lezhenkin, A.N. Kravchuk, V.I. and Kushnarev, A.S. (2010), "The technology of harvesting grain by the method of stripping plants on the vine: state and prospects", *Doslidnickoe*, pp. 40–44.

4. Lezhenkin A.N. (2005), *Mehanizacija uborki zernovyh kul'tur s ispol'zovaniem ochesyvajushhih ustrojstv* [Mechanization of harvesting grain crops using strippers], St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia.

5. Shvartsman, M.Ye. and Timchenko, A.V. (2014), "Harvesting of cereal crops by thrashing plants on the vine of the two-drum header of the double-drum type "Slavyanka UAS"", *UKR.AGRO-SERVIS*, [Online], available at: <http://ukragro-serv.com.ua>.

6. Borisonik Z.B. (1988), *Spravochnik po maslichnym kulturam* [Handbook of oilseeds], Urozhaj, Kyiv, Ukraine.

7. Sai V.A. (2012), *Tekhnologija vyroschuvannya, zbyrannia ta pervynnoi pererobky l'onu olijnoho* [Technology of cultivation, harvesting and primary processing of flaxseed oil], LNTU, Lutsk, Ukraine.

8. Pahuchy, A.M. (2018), "Analysis and directions for increasing the efficiency of reaper-type reapers", *Tekhnichnyj servis ahropromyslovoho, li-sovoho ta transportnoho kompleksiv*, vol. 13, pp. 55-61

9. Goncharov, B.I. (1982), "Investigation of working process of skidding device for threshing of rice on the vine in order to reduce grain losses", Ph.D. Thesis, Technical sciences, Moscow, Russia.

10. Buryanov, A.I. Dmitrenko, A.I. and Buryanov, M.A. (2010), "Evaluation of new non-traditional technologies for harvesting cereal crops", *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, vol. 10, pp. 16-19.

11. Kosilov, N.I. and Moiseenko, O.V. (2006), "Parameters and operating modes of the working bodies of the reaping machine for the harvest of the corn crop", *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*, vol. 6, pp. 9-11.

12. Alakin, V.M. and Savin, V.Yu. (2010), "Kinematic characteristics of single drum comb adapter", *Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny*, vol. 11, pp. 7-8.

13. Goncharov, B.I. Shabanov, P.L. Samofalov, N.K. and others (1986), "Threshing rice on the vine with a double-drum stripper", *Traktory i sel'hozmashiny*, vol. 2, pp. 35-38.

14. Sysolin, P.V. and Moroz, M.M. (1999), "Determination of the working range of the velocity of the comb combing speed of the bleaching drum",

*Agroinzhenerni doslidzhennja* [Agroengineering research], *Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho ahrarnoho universytetu* [Visnyk of Lviv State Agrarian University], Lviv State Agrarian University, Lviv, Ukraine, pp. 112-115.

15. Mashkov, O.M. (1999), "Theoretical substantiation of parameters of a bite-reflector of an eye-catching device", *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomor'ia* [Bulletin of agrarian science of the Black Sea region], Mykolaiv State Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine, pp. 156-161.

16. Pogorely, L., Koval, S. and Makushin G. (2000), "Theoretical and experimental studies of

headers", *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologij dlia sil's'koho hospodarstva Ukrainy* [Techno-technological aspects of development and testing of new technology and technologies for agriculture in Ukraine], *Zbirnyk naukukovykh prats'* [Collection of scientific works], Ukrainian Research Institute for forecasting and testing of technology and technology for agricultural production, Doslidnyts'ke, Ukraine, pp. 14-20.

17. Timoshenko, S.P. (1972), *Kurs teorii uprugosti* [The course of the theory of elasticity], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.

## Анотация

### Обоснование конструктивно-технологических параметров очесывающего барабана жатки

А.В. Козаченко, А.М. Пахучий, С.А. Дьяконов, В.В. Гончаров

Решение проблемы повышения эффективности зерноуборочной техники, в частности, с использованием при прямом комбайнировании жаток очесывающего типа, предполагает построение схемы технологического процесса и расчет рациональных конструктивных параметров, обуславливающих качественное выполнение процесса сбора растений на корню.

В статье изложены результаты теоретических исследований обоснование конструктивно-технологических параметров очесывающего барабана жатки для уборки льна масличного с учетом физико-механических свойств стеблей растений, которые определяют их поведение под воздействием механических сил, возникающих при взаимодействии с рабочими органами очесывающего устройства.

Технологический процесс сбора семян льна масличного, что выполняется комбайнами, должен учитывать данные по урожайности, физико-механические свойства растений (стебли и семена), требования относительно конечного продукта по форме и качеству и производительность указанного процесса. Во время уборки комбайном растения подвергаются различным механическим напряжениям (растяжением, сжатием, сгибанием, сдвиги и др.) Что необходимо учитывать при моделировании процесса.

Поведение растений во время выполнения технологического процесса сбора является результатом сочетания упруго-пластических свойств материала, свойств гранулированного материала и неньютоновских характеристик потока жидкости. Такое поведение, включающее сложные взаимодействия и нелинейные связи, затрудняет применение или адаптацию известных теорий однородных материалов, а также разработку надежных теорий. Таким образом, сложным процессом является математическое моделирование свойств для дальнейшего использования в моделировании процессов оптимизации и управления.

В результате теоретических исследований процесса взаимодействия растения льна масличного с очесывающего барабаном жатки на основе теории колебаний, получено динамическую функцию изменения кривизны стебли в зависимости от его реологических свойств и установлены конструктивные параметры барабана, а именно, значения радиусов  $R_{out} = 0,28$  м,  $R_{in} = 0,22$  м, координат центра  $y_c = 0,28$  м и  $x_c = 0,52$  м и количества очесывающего гребенок  $j = 8$ . шт. Сделаны соответствующие выводы относительно полученных результатов теоретических исследований.

**Ключевые слова:** жатка очесывающего типа, процесс очеса, очесывающего барабан, очесывающая гребенка.

## Abstract

### Substantiation of structural and technological parameters of the reeling drum

O.V. Kozachenko, A.M. Pakhuchy, S.O. Dyakonov, V.V. Goncharov

The solution of the problem of increasing the efficiency of grain harvesting technology, in particular, with the use of stripping harvester in the process of direct harvesting, involves the construction of a scheme of technological process and the calculation of rational design parameters that determine the qualitative implementation of the process of harvesting plants at the root.



The article presents the results of theoretical studies of the substantiation of the design and technological parameters of the stripping rotor of the harvester for the harvesting of oilseed flax, taking into account the physical and mechanical properties of the plant stem, which determine their behavior under the influence of mechanical forces that arise during interaction with the working elements of the stripping device.

The technological process of harvesting oilseed flax, which is carried out by combines, must take into account data on yields, physical and mechanical properties of plants (stems and seeds), requirements for the final product as for the form and quality and productivity of the stated process. During harvesting, the plants undergo various mechanical stresses (stretching, compression, bending, shifts, etc.) that need to be taken into account when modeling the process.

The behavior of plants during the process of harvesting is the result of the combination of the elastic-plastic properties of the material, the properties of the granular material and the non-Newtonian characteristics of the fluid flow. Such behavior involving complex interactions and nonlinear relationships complicates the application or adaptation of known theories of homogeneous materials, as well as the development of reliable theories. Thus, the mathematical modeling of these properties for further use in simulation of optimization and control processes is a complex process.

As a result of theoretical studies of the interaction of an oil flax plant with a header combing a drum based on the theory of vibrations, a dynamic function was obtained to change the stem curvature depending on its rheological properties and the drum design parameters were established, namely, radii  $R_{out} = 0,28$  m,  $R_{in} = 0,22$  m, coordinates of the center  $y_c = 0,28$  m and  $x_c = 0,52$  m and the number of combing  $j = 8$ . pcs.

Appropriate conclusions have been made regarding the results of theoretical studies.

**Keywords:** *combing harvester, stripping process, stripping drum, combing comb.*

---

**Представлено від редакції: В.І. Мельник / Presented on editorial: V.I. Melnyk**

**Рецензент: В.Г. Знайдюк / Reviewer: V.G. Znajdjuk**

*Подано до редакції / Received: 19.12.2018*