

© Г.А. Хайліс, д.т.н.

УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого

© М.М. Толстушко, к.т.н., Н.О. Толстушко

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ РУХУ СТРІЧКИ СТЕБЕЛ НА ВІБРУВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ РОЗСТИЛАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

У статті наведено результати аналізу руху стрічки стебел льону на вібрувальній поверхні розстилального пристрою льонокомбайна. Виведені залежності між параметрами й режимами роботи даного пристрою та показниками руху стебел стрічки.

ЛЬОНОЗБИРАЛЬНИЙ КОМБАЙН, РОЗСТИЛАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ВІБРУВАЛЬНА ПОВЕРХНЯ, СТРІЧКА ЛЬОНУ, ШАР СТЕБЕЛ.

Постановка проблеми. У сучасних умовах льонотреста в Україні готується в господарствах на льоновищі у стрічках, що розстилаються льонозбиральними комбайнами. Наявні розстилальні пристрої льонокомбайнів недостатньо якісно виконують процес розстилання стрічки стебел на льоновищі. Розстелені ними стрічки мають високі значення відносної розтягнутості та перекосу стебел, а також є нерівномірними за товщиною і містять розриви. Тому актуальним є підвищення якості розстилання стрічки стебел льонокомбайном. Досягти цього можна завдяки підрівнюванню стрічки стебел під час її розстилання. У відомих конструкціях льонозбиральних комбайнів не передбачено такої операції. А тому виникла потреба у розробленні та обґрунтуванні параметрів і режиму роботи пристрою комбайна для одночасного підрівнювання й розстилання стрічки стебел льону [1-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що основні параметри розстилальних пристроїв не узгоджені з режимами роботи льонокомбайнів та характеристиками стеблової стрічки [2, 3].

Мета дослідження – проаналізувати рух стрічки стебел на вібрувальній поверхні розстилального пристрою льонокомбайна та обґрунтувати параметри цього пристрою.

Результати дослідження. Розстилальний пристрій льонокомбайна містить вібрувальний щит з буртиком, що підрівнює та розстилає стеблову стрічку. Необхідно проаналізувати рух стебел стрічки льону на плоскій, похилій поверхні щита з буртиком, яка здійснює поступальні, криволінійні, негармонічні коливання.

Для аналізу руху стебел стрічки на вібрувальній поверхні приймаємо такі допущення: 1) льонокомбайн здійснює поступальний,

прямолинійний і рівномірний рух; 2) опором середовища нехтуємо; 3) стрічку стебел льону будемо розглядати як дискретне середовище, що складається з окремих шарів стебел, кожен з яких представляє собою групу паралельно вкладених один на одному однакових стебел масою m і довжиною l ; 4) вважаємо, що шар стебел не перекидається під час руху і відносно зміщення стебел у шарі відсутнє; 5) нехтуємо контактом між сусідніми шарами стебел у стрічці; 6) стебла льону будемо розглядати як тверді тіла у формі тонких стрижнів з нерівномірно розподіленою щільністю по довжині; 7) аналізуємо рух нижнього стебла шару, яке безпосередньо взаємодіє з вібрувальною поверхнею, причому до цього стебла прикладаємо силу ваги вищерозташованих стебел у шарі; 8) стебла рухаються поступально.

Зауважимо, що поняття “шару стебел” базується на понятті “групи стебел”, трактування якого дано в [1]. Схематично модель шару стебел у стрічці зображено на рис. 1. Тут, шар стебел розміщений між вертикальними прямими 1–1 і 2–2, а C, C_1, C_2, \dots, C_k – центри мас стебел у шарі, які розміщені вздовж однієї вертикалі 3–3.

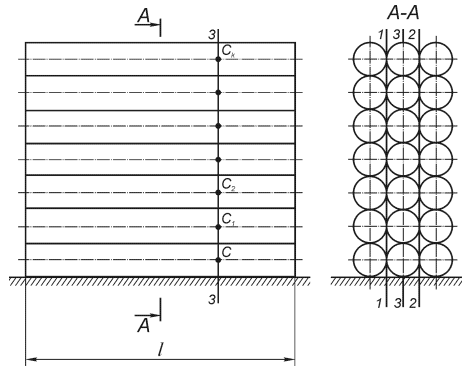


Рис. 1 – Схематичне зображення моделі шару стебел у стрічці

Кількість стебел $k + 1$ у шарі приблизно дорівнює:

$$k + 1 \approx n_1 \cdot b_1 \cdot i_0 \cdot d_{\text{сеп}} = i_n \cdot d_{\text{сеп}}, \quad (1)$$

де k – кількість стебел, що розташовані над нижнім стеблом шару; n_1 – кількість працюючих бральних секцій льонокомбайна; b_1 – ширина захвату однієї бральної секції льонокомбайна; i_0 – кількість стебел на 1 м² поля; $d_{\text{сеп}}$ – середнє значення діаметра стебла у стрічці; $i_n = n_1 \cdot b_1 \cdot i_0$ – кількість стебел на 1 м довжини стрічки льону.

Маса m_u усього шару стебел стрічки дорівнює:

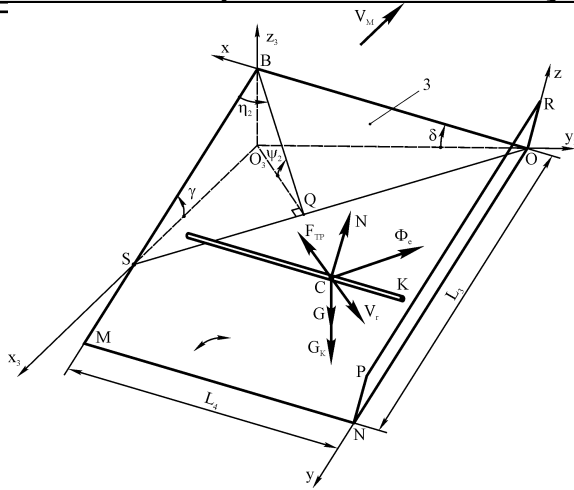
$$m_{ш} = m \cdot (k + 1) = m_{сеп} \cdot i_n \cdot d_{сеп}, \quad (2)$$

де $m = m_{сеп}$ – середнє значення маси стебла у стрічці.

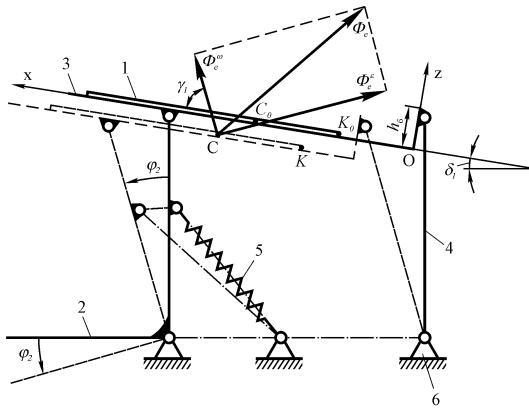
На рис. 2 дано схеми для аналізу руху нижнього стебла шару на вібрувальній поверхні. Причому усі силові фактори, що діють на стебло, представлені на рис. 2, а, а на рис. 2, б дано схему вібраційного механізму приводу робочої поверхні для визначення складових сили інерції. Тут просторова система координат $O_3x_3y_3z_3$ жорстко пов'язана з рамою льонокомбайна. Тобто, згідно з прийнятими допущеннями, система координат $O_3x_3y_3z_3$ є інерціальною. Льонокомбайн рухається у протилежному напрямку до осі O_3x_3 з швидкістю v_M . Вібрувальна поверхня $ONMB$ довжиною L_3 та шириною L_4 , як показано на рис. 2, а, нахилена до горизонталі: у поздовжньо-вертикальній площині $x_3O_3z_3$ – під кутом γ ($\angle \gamma = \angle O_3SB$), а у поперечно-вертикальній площині $y_3O_3z_3$ – під кутом δ ($\angle \delta = \angle O_3OB$). З поверхнею $ONMB$ пов'язана система координат $Oxyz$, вісь Oy якої напрямлена вздовж буртика ON висотою h_6 , а вісь Oz перпендикулярна до цієї поверхні. Площина xOy щита з буртиком 3 (рис. 2, а) нахилена до горизонтальної площини $x_3O_3y_3$ під кутом ψ_2 ($\angle \psi_2 = \angle O_3QB$) і перетинає останню по лінії OS ($BQ \perp OS$ та $O_3Q \perp OS$). У площині xOy міститься кут η_2 ($\angle \eta_2 = \angle SBQ$).

Траєкторією руху щита з буртиком є дуга кола, що лежить у площині перпендикулярній до осі Oy і нахилений до площини $y_3O_3z_3$ під кутом γ . Поверхня $ONMB$ нахилена до горизонталі, у площині власної траєкторії коливаль, під кутом δ_1 (рис. 2, б).

У проміжку безвідривного руху стебла відносно вібрувальної поверхні використаємо диференційні рівняння відносного руху центра мас стебла у проєкціях на осі декартової системи координат $Oxyz$:



а



б

Рис. 2 – Схема до аналізу руху нижнього стебла шару стрічки на вібрувальній поверхні (а) та схема вібраційного механізму привода для визначення складових ейлерової сили інерції (б): 1 – стебло; 2 – коромисло; 3 – щит з буртиком; 4 – підвіски; 5 – пружина; 6 – рама

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_C &= F_x + R_x\Phi + e_x\Phi; & cx \\ m\ddot{y}_C &= F_y + R_y\Phi + e_y\Phi; & cy \\ m\ddot{z}_C &= F_z + R_z\Phi + e_z\Phi; & cz \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $m = m_{сер}$ – маса стебла в шарі, яка дорівнює середньому значенню маси стебла у стрічці; $\ddot{x}_C, \ddot{y}_C, \ddot{z}_C$ – проекції вектора відносного прискорення центра мас стебла відповідно на осі Ox, Oy та Oz ; F_x, F_y, F_z – проекції діючих на стебло активних сил; R_x, R_y, R_z – проекції реакцій в'язей, які накладені на стебло; $\Phi_{ex}, \Phi_{ey}, \Phi_{ez}$ – проекції переносної сили інерції; $\Phi_{cx}, \Phi_{cy}, \Phi_{cz}$ – проекції коріолісової сили інерції.

З активних сил на стебло діють сила ваги G і сила ваги G_k вищерозташованих k стебел у шарі, а з реактивних: нормальна реакція опорної поверхні N і сила тертя ковзання $F_{тр} = f \cdot N$, де f – коефіцієнт тертя ковзання стебла на поверхні щита з буртиком. Переносну силу інерції Φ_e представимо у вигляді двох складових Φ_e^ω та Φ_e^ε (рис. 2, б):

$$\Phi_e^\omega = m \cdot l_4 \cdot (\omega_2(t))^2; \quad \Phi_e^\varepsilon = m \cdot l_4 \cdot \varepsilon_2(t), \quad (4)$$

де l_4 – довжина підвісок 4; $\omega_2(t), \varepsilon_2(t)$ – кутові, відповідно, швидкість і прискорення коромисла.

Закон руху $\varphi_2 = \varphi_2(t)$ коромисла 2 встановлено у вигляді кускової функції [3], у класифікації законів негармонічних коливань його можна віднести до ударно-вібраційного руху. Для використання цієї кускової функції проведено гармонічний аналіз коливань коромисла, тобто розкладено функцію в ряд Фур'є:

$$\varphi_2 = \varphi_2(t) = \frac{c_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(c_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot n \cdot \pi}{T} \cdot t\right) + e_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot n \cdot \pi}{T} \cdot t\right) \right) \quad (5)$$

де c_0, c_n, e_n – коефіцієнти, які визначаються згідно з формулами Ейлера-Фур'є; T, t – відповідно період коливань коромисла та час.

Коріолісова сила інерції $\Phi_c = 0$, оскільки робочий орган здійснює поступальний рух.

Згідно зі схемами на рис. 2 та формулами (3), отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_C &= -(G + G_k) \cdot \sin\psi_2 \cdot \sin\eta_2 - F_{тр} \cdot \frac{\dot{x}_C}{v_r} + \\ &\quad + \Phi_e^\omega \cdot \cos\gamma_1 - \Phi_e^\varepsilon \cdot \sin\gamma_1; \\ m\ddot{y}_C &= (G + G_k) \cdot \sin\psi_2 \cdot \cos\eta_2 - F_{тр} \cdot \frac{\dot{y}_C}{v_r}; \\ m\ddot{z}_C &= -(G + G_k) \cdot \cos\psi_2 + N\Phi \sin\gamma_1\Phi \xi \cos\gamma_1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де $v_r = \sqrt{(\dot{x}_C)^2 + (\dot{y}_C)^2}$ – відносна швидкість центра мас стебла;
 \dot{x}_C, \dot{y}_C – проекції v_r на осі Ox та Oy ; $\gamma_1 = 90^\circ - \delta_1 - \varphi_2(t)$ – кут між
 додатним напрямом осі Ox та вектором сили Φ_e^ω (рис. 2, б).

Залежності $\psi_2 = \psi_2(\gamma, \delta)$ та $\eta_2 = \eta_2(\gamma, \delta)$ представимо так:

$$\psi_2 = \arcsin \left(\frac{\sqrt{tg^2 \gamma + tg^2 \delta}}{\sqrt{tg^2 \gamma + tg^2 \delta + 1}} \right);$$

$$\eta_2 = \arcsin \left(\frac{\cos \gamma \cdot \sin \delta}{\sqrt{tg^2 \gamma \cdot \cos^2 \delta + \sin^2 \delta}} \right),$$

тут $\delta = \arctg(tg \delta_1 / \cos \gamma)$.

Після підстановки у систему (6) усіх величин, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{Cn} &= -i_{cep} \cdot d \cdot g \cdot \cos \gamma \cdot \sin \delta_1 - f \cdot \frac{N}{m} \cdot \frac{\dot{x}_C}{\sqrt{(\dot{x}_C)^2 + (\dot{y}_C)^2}} + \\ &+ l_4 \cdot \left((\omega_2(t))^2 \cdot \sin(\delta_1 + \varphi_2(t)) - \varepsilon_2(t) \cdot \cos(\delta_1 + \varphi_2(t)) \right); \\ \ddot{y}_{Cn} &= i_{cep} \cdot d \cdot g \cdot \sin \gamma - f \cdot \frac{N}{m} \cdot \frac{\dot{y}_C}{\sqrt{(\dot{x}_C)^2 + (\dot{y}_C)^2}}; \\ \ddot{z}_{Cn} &= -i_{cep} \cdot d \cdot g \cdot \cos \gamma \cdot \cos \delta_1 + \frac{N}{m} + \\ &+ l_4 \cdot \left((\omega_2(t))^2 \cdot \cos(\delta_1 + \varphi_2(t)) + \varepsilon_2(t) \cdot \sin(\delta_1 + \varphi_2(t)) \right), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $i_n \cdot d_{cep} \approx k + 1$ – кількість стебел у шарі.

З третього рівняння системи (7) встановлюється умова безвідриного руху стебла відносно вібрувальної поверхні щита з буртиком ($z_C = 0$):

$$\frac{l_4}{i_n \cdot d_{cep} \cdot g \cdot \cos \gamma \cdot \cos \delta_1} \cdot \left((\omega_2(t))^2 \cdot \cos(\delta_1 + \varphi_2(t)) + \varepsilon_2(t) \cdot \sin(\delta_1 + \varphi_2(t)) \right) \leq 1. \quad (8)$$

На вібрувальній поверхні *ONMB* стебла стрічки поступово наближаються до буртика *ONPR* і своїми коренями взаємодіють з ним. Стебла стрічки, які безпосередньо взаємодіють з буртиком, за кожний період коливань майже не зміщуються від буртика і рухаються тільки вниз уздовж осі *Oy*. Внаслідок цього корені стебел у стрічці підрівнюються і на виході з пристрою більш компактно сформована стрічка падає на землю.

Для обґрунтування довжини L_3 щита з буртиком необхідно розглянути умову (8) і перші два рівняння системи (7), для інтегрування яких використано чисельний метод Рунге-Кутта-Фельберга 4-5 порядку. На основі наведених значень параметрів вібраційного механізму і стрічки стебел льону [3], а також рівнянь системи (7) і умови (8) розроблена програма на ПЕОМ в середовищі універсальної системи комп'ютерної математики Maple V і проаналізовано вплив низки параметрів $(d_{cep}, i_n, m_{cep}, v_M)$ на траєкторію руху кінця кореня нижнього стебла шару стрічки. У процесі аналізу приймали: $\dot{x}_{K0} = \dot{x}_{C0} \approx 0$ м/с; $\dot{y}_{K0} = \dot{y}_{C0} \approx 1$ м/с; $l_C = 0,4$ м; $x_{K0} = \Delta l = x_{C0} - l_C = 0,2$ м, де Δl – початкова абсолютна розтягнутість стебел у стрічці; $y_{K0} = y_{C0} = 0$ м; $b_1 = 0,38$ м; $f = 0,46$; $\gamma = \arctg f \approx 25^\circ$; $\delta_1 = 5^\circ$. При цьому d_{cep} , i_n , m_{cep} , v_M змінювались у межах: $d_{cep} = 0,001 \dots 0,0024$ м; $i_n = 800 \dots 3800$ штук/м; $m_{cep} = 0,0010 \dots 0,0020$ кг; $v_M = 1,94 \dots 2,78$ м/с.

Для прикладу на рис. 3 побудовані траєкторії руху кінця кореня нижнього стебла шару стрічки $y_K = y_K(x_K)$ для одного значення v_M і трьох різних комбінацій значень параметрів d_{cep} , i_n , m_{cep} , для яких виконується умова (8).

Висновки. На основі отриманих результатів обґрунтовано, що довжина щита з буртиком має бути – $L_3 = 0,9$ м, а кути нахилу його поверхні до горизонталі у двох площинах повинні становити: у поздовжньо-вертикальній – $\gamma = 20^\circ \dots 30^\circ$, у поперечно-вертикальній – $\delta = 5^\circ \dots 6^\circ$. Зауважимо, що за відривного руху стебел відносно

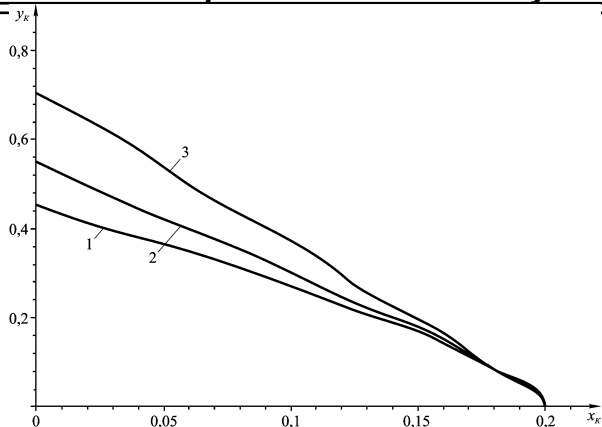


Рис. 3 – Траєкторії руху кінця кореня стебла $y_k = y_k(x_k)$ для $v_M = 2,50$ м/с: 1 – $d_{cep} = 2,4$ мм, $i_n = 800$ шт./м, $m_{cep} = 2,0$ г; 2 – $d_{cep} = 1,7$ мм, $i_n = 2300$ шт./м, $m_{cep} = 1,5$ г; 3 – $d_{cep} = 2,4$ мм, $i_n = 3800$ шт./м, $m_{cep} = 2,0$ г

вібрувальної поверхні останні швидше наближаються до буртика (тобто швидше підрівнюються) при менших поздовжніх габаритах щита з буртиком, ніж за безвідриного руху.

Література

1. Хайліс Г.А. Механика растительных материалов / Хайліс Г.А. – К.: УААН, 2002. – 374 с.
2. Хайліс Г.А. Теория льноуборочных машин / Хайліс Г.А. – М.: Росинформартех, 2011. – 322 с.
3. Толстушко М.М. Обґрунтування параметрів підрівнювально-розстилального пристрою льнозбирального комбайна / М.М. Толстушко // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип. 14. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ. – 2006. – С. 169 – 177.
4. Толстушко Н.О. Аналіз пристроїв для пакування стрічки льону / Н.О. Толстушко, Г.А. Хайліс, С.Є. Голячук // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Вип. 41. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2005. – С. 363 – 374.