

УДК 631.35:633.521

О.С. Харчук, Г.А. Хайліс, М.М. Толстушко, Н.О. Толстушко
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОЗСТИЛАННЯ СТЕБЕЛ ЛЬОНОЗБИРАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

У даній роботі наведено результати теоретичного дослідження процесу розстилення стебел льону льонозбиральною машиною. Виведені аналітичні залежності та умову якісного розстилення стебел льону для обґрунтування параметрів і режимів роботи розстиляльного пристрою льонозбиральної машини. Висновки та отримані результати спонукають до подальшого наукового дослідження.

Ключові слова: льонозбиральна машина, стебло льону, розстиляльний щит, параметри, режими роботи.
Форм. 17. Рис. 1. Літ. 7.

А.С. Харчук, Г.А. Хайліс, Н.Н. Толстушко, Н.А. Толстушко

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАССТИЛА СТЕБЛЕЙ ЛЬНОУБОРОЧНОЙ МАШИНОЙ

В данной работе приведены результаты теоретического исследования процесса расстила стеблей льна льноуборочной машиной. Выведены аналитические зависимости и условие качественного расстила стеблей льна для обоснования параметров и режимов работы расстиляющего устройства льноуборочной машины. Выводы и полученные результаты побуждают к дальнейшему научному исследованию.

Ключевые слова: льноуборочная машина, стебель льна, расстиляющий щит, параметры, режимы работы.

A.S. Harchuk, G.A. Haylis, N.N. Tolstushko, N.A. Tolstushko

ANALYSIS OF THE PROCESS SPREADING OF STEMS OF THE FLAX HARVESTER

An important task of agriculture is to improve the quality of technological operations flax harvesting on the basis of the development of new and improvement of existing working bodies harvesters. One of the main operations is the distance the tape on the stems, which are available devices harvesters perform well enough. This paper presents the results of theoretical studies of distance stalks of flax harvesting machine. The analytic, and depending on the condition of quality distance flax stalks to justify the parameters and modes of operation of the device for the distance of the harvesting machine. Range of options for the design of the device stems distance can be set on the basis of the analysis of the translational and rotational motion of the flat parts of the stalks. Further studies will be aimed at solving numerically the system of nonlinear differential equations and on the basis of the results will be substantiated parameters and modes of operation of the device for distance stem harvester.

Keywords: Machine harvesting of flax, flax stalk, shield raised, parameters, modes of operation.

Постановка проблеми. Важливим завданням льонарської галузі сільського господарства є підвищення якості виконання технологічних операцій збирання льону на підставі розроблення нових та вдосконалення наявних робочих органів льонозбиральних машин [1-5]. Однією з основних операцій є розстилення стебelloвої стрічки на льоновищі, яку наявні розстиляльні пристрої льонозбиральних машин недостатньо якісно виконують. Внаслідок цього порушуються агротехнічні вимоги до розстеленої стебelloвої стрічки, що надалі сприяє значним втратам якості та кількості отриманої льонопродукції під час збирання та переробки льону [1-5]. Виправити таку ситуацію можна на основі системного обґрунтування параметрів і режимів роботи розстиляльних пристроїв льонозбиральних машин завдяки аналізу процесу розстилення стебел.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні є досить багато теоретичних та експериментальних досліджень присвячених вивченню роботи різної льонозбиральної техніки, але їх результати свідчать про те, що окремі параметри і режими роботи розстиляльних пристроїв машин та характеристики стрічки стебел льону між собою неузгоджені [1-5].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розроблення математичної моделі процесу розстилення стебел льонозбиральною машиною та встановлення умови якісного виконання даного процесу.

Виклад основного матеріалу. Для обґрунтування параметрів і режимів роботи розстиляльного пристрою льонозбиральної машини [6, 7] необхідно проаналізувати переміщення стебел стрічки льону на його розстиляльному щиту до початку їх взаємодії з ребристою поверхнею еластичного конуса.

Під час розробки математичної моделі процесу розстилення стебел льонозбиральною машиною приймаємо такі допущення: 1) льонозбиральна машина, яка обладнана розробленим пристроєм, під час роботи здійснює поступальний, прямолінійний 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 робочою поверхнею розстиляльного пристрою, причому до цього стебла прикладаємо силу ваги вищерозташованих стебел у даному шарі.

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

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

де k – кількість стебел, що розташовані над нижнім стеблом шару;

n_1 – кількість працюючих бральних секцій льонозбиральної машини;

b_1 – ширина захвату однієї бральної секції льонозбиральної машини;

i_0 – кількість стебел на 1 м^2 поля;

$d_{\text{сер}}$ – 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 $m_{\text{ш}}$ усього шару стебел стрічки дорівнює:

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

де $m = m_{\text{сер}}$ – середнє значення маси стебла у стрічці.

Схема до аналізу процесу розстиляння стебел льонозбиральною машиною зображена на рис.

1. Тут просторова система координат $O_2x_2y_2z_2$ жорстко пов'язана з рамою льонозбиральної машини. Тобто, згідно прийнятих допущень, система координат $O_2x_2y_2z_2$ є інерціальною. Льонозбиральна машина рухається у протилежному напрямку до осі O_2x_2 зі швидкістю v_M . Плоска поверхня ODE розстиляльного щита, з якою пов'язана просторова система координат $Oxyz$, нахилена до горизонталі, у поздовжньо-вертикальній площині $x_2O_2z_2$, під кутом α ($\angle \alpha = \angle OEO_2$), а до вертикалі, у поперечно-вертикальній площині $y_2O_2z_2$, під кутом β ($\angle \beta = \angle AOO_2$). Площина xOy нахилена до горизонтальної площини $x_2O_2y_2$ під кутом ψ ($\angle \psi = \angle OFO_2$) і перетинає останню по лінії AE ($OF \perp AE$ та $O_2F \perp AE$). У площині xOy знаходиться кут η ($\angle \eta = \angle EOF$).

Стебла шару стрічки на поверхні щита здійснюють плоский рух, який можна розглядати як сукупність двох простих рухів: поступального руху стебла з кінематичними параметрами його центра мас та обертального руху стебла навколо його центра мас.

З огляду відомих досліджень властивостей льону [1-5] впливає, що щільність для обчислених стебел можна вважати розподіленою за лінійним законом по їх довжині. Отже, якщо початок відліку осі $H\xi$ (рис.), напрямленої вздовж довжини стебла, розмістити на кінці верхівки останнього, тоді:

$$\gamma(\xi) = \gamma_0 \cdot \xi, \quad (3)$$

де $\gamma(\xi)$ – маса одиниці довжини стебла;

γ_0 – стала величина.

Маса стебла m з урахуванням (3) дорівнює:

$$m = \int_0^l \gamma(\xi) d\xi = \gamma_0 \int_0^l \xi d\xi = 0,5 \cdot \gamma_0 \cdot l^2. \quad (4)$$

З формули (4) слідує, що $\gamma_0 = 2 \cdot m / l^2$. Отже,

$$\gamma(\xi) = \frac{2 \cdot m \cdot \xi}{l^2}. \quad (5)$$

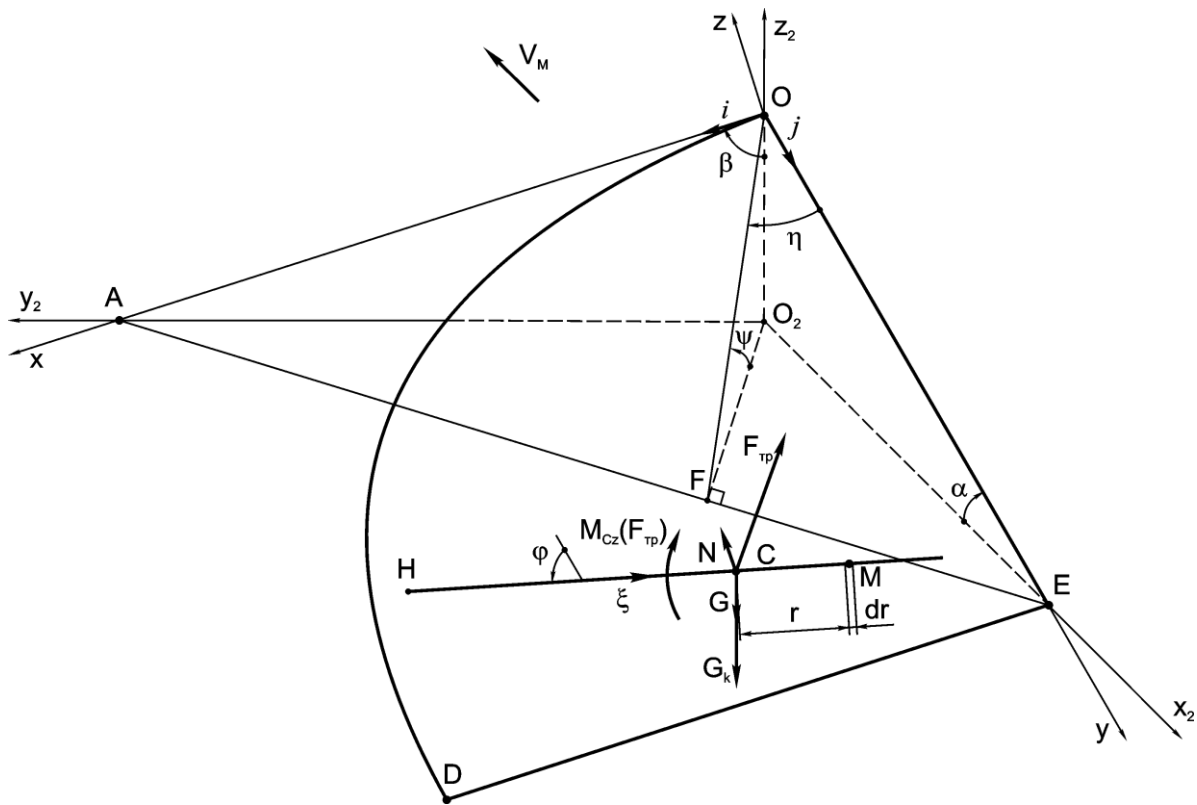


Рис. 1. Схема до аналізу процесу розстилання стебел льонозбиральною машиною

Положення центра мас стебла льону визначається за формулою:

$$\xi_C = \frac{\gamma_0}{m} \int_0^l \xi^2 d\xi = \frac{2}{3} l. \quad (6)$$

Використовуючи теорему Гюйгенса-Штейнера з механіки, визначимо момент інерції стебла відносно осі Cz , яка перпендикулярна до площини xOy , тобто:

$$J_{Cz} = J_{Hz} - m \cdot \xi_C^2 = \frac{m \cdot l^2}{18}, \quad (7)$$

де $J_{Hz} = \gamma_0 \int_0^l \xi^3 d\xi = 0,5 \cdot m \cdot l^2$ – момент інерції стебла відносно осі Hx , яка паралельна осі Cz .

Для розв'язання поставленої вище задачі використаємо диференційні рівняння плоского руху твердого тіла:

$$\left. \begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_C &= \sum_{i=1}^n F_{ix}^e; \\ m \cdot \ddot{y}_C &= \sum_{i=1}^n F_{iy}^e; \\ J_{Cz} \cdot \ddot{\varphi} &= \sum_{i=1}^n M_{Cz}(F_i^e), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де \ddot{x}_C, \ddot{y}_C – проєкції вектора прискорення центра мас стебла відповідно на осі Ox та Oy інерціальної системи координат $Oxyz$;

$\sum_{i=1}^n F_{ix}^e, \sum_{i=1}^n F_{iy}^e$ – суми проєкцій зовнішніх сил, які діють на стебло, відповідно на осі Ox та Oy ;

$\ddot{\varphi}$ – алгебраїчне значення кутового прискорення стебла;

$\sum_{i=1}^n M_{Cz}(F_i^e)$ – сума моментів зовнішніх сил відносно осі Cz .

На нижнє стебло, згідно з прийнятими допущеннями, діють (рис.): сила ваги G стебла і сила ваги G_k вищерозташованих k стебел у шарі, нормальна реакція опорної поверхні N , а також сила F_{TP} та пара сил з відповідним моментом $M_{Cz}(F_{TP})$, отримані в результаті зведення елементарних сил тертя ковзання стебла до його центра мас C .

Для визначення сили F_{TP} виділимо нескінченно малий елемент стебла M довжиною dr на відстані r від його центра мас (рис.). На цей елемент стебла діє елементарна сила тертя ковзання dF_{TP} , вектор якої дорівнює:

$$d\vec{F}_{TP} = -dN \cdot f \cdot \frac{\vec{v}_M}{|\vec{v}_M|}, \quad (9)$$

де $dN = dm \cdot g \cdot (k+1) \cdot \cos \psi = \frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot \cos \psi \cdot \left(\frac{2}{3}l + r\right) dr$ – нормальна реакція опорної поверхні, яка діє на елемент стебла M ;

тут $dm = \frac{2m}{l^2} \cdot \left(\frac{2}{3}l + r\right) dr$ – маса нескінченно малого елемента стебла;

g – прискорення вільного падіння;

ψ – кут нахилу площини руху стебла до горизонту;

f – коефіцієнт тертя ковзання стебла на робочій поверхні розстиляльного щита;

\vec{v}_M і $|\vec{v}_M|$ – відповідно вектор і модуль вектора швидкості нескінченно малого елемента стебла M (точки M).

Вектор швидкості точки M стебла, згідно з кінематикою плоского руху твердого тіла, визначається за формулою:

$$\vec{v}_M = \vec{v}_C + \vec{v}_{MC}, \quad (10)$$

де $\vec{v}_C = \dot{x}_C \cdot \vec{i} + \dot{y}_C \cdot \vec{j}$ – вектор швидкості центра мас стебла;

тут \dot{x}_C , \dot{y}_C – проекції вектора \vec{v}_C відповідно на осі Ox та Oy інерціальної системи координат $Oxyz$;

\vec{i} та \vec{j} – орти відповідних осей координат (рис.);

\vec{v}_{MC} – вектор швидкості точки M від обертального руху тіла навколо полюса C . Вектор \vec{v}_{MC} напрямлений перпендикулярно до відрізка стебла MC у бік кутової швидкості стебла $\dot{\varphi}$, а модуль $|\vec{v}_{MC}| = \dot{\varphi} \cdot r$.

Модуль вектора $|\vec{v}_M|$ дорівнює:

$$|\vec{v}_M| = \sqrt{v_{Mx}^2 + v_{My}^2} = \sqrt{(\dot{x}_C - r \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \varphi)^2 + (\dot{y}_C - r \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi)^2}, \quad (11)$$

де $v_{Mx} = \dot{x}_C - r \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \varphi$, $v_{My} = \dot{y}_C - r \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi$ – проекції вектора \vec{v}_M відповідно на осі Ox та Oy .

Отже, рівність (9) можна подати у вигляді:

$$d\vec{F}_{TP} = -\frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos \psi \cdot \left(\frac{v_{Mx}}{|\vec{v}_M|} \cdot \vec{i} + \frac{v_{My}}{|\vec{v}_M|} \cdot \vec{j} \right) \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr. \quad (12)$$

Інтегруючи залежність (12) по довжині стебла, отримаємо:

$$\vec{F}_{TP} = -\frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos\psi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \left(\frac{v_{Mx}}{|\vec{v}_M|} \cdot \vec{i} + \frac{v_{My}}{|\vec{v}_M|} \cdot \vec{j} \right) \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr. \quad (13)$$

З урахуванням (12) визначимо сумарний момент елементарних сил тертя ковзання стебла відносно осі Cz :

$$M_{Cz}(F_{TP}) = \frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos\psi \cdot \left(\cos\varphi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{Mx}}{|\vec{v}_M|} \cdot r \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr + \right. \\ \left. + \sin\varphi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{My}}{|\vec{v}_M|} \cdot r \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr \right). \quad (14)$$

Отже, згідно зі схемою на рис. 1. та формулами (8), (13) і (14), диференційні рівняння плоского руху нижнього стебла шару стрічки на розстиляльному щиту матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_C &= (G + G_k) \cdot \sin\psi \cdot \sin\eta - \frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos\psi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{Mx}}{|\vec{v}_M|} \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr; \\ m \cdot \ddot{y}_C &= (G + G_k) \cdot \sin\psi \cdot \cos\eta - \frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos\psi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{My}}{|\vec{v}_M|} \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr; \\ J_{Cz} \cdot \ddot{\varphi} &= \frac{2m}{l^2} \cdot g \cdot (k+1) \cdot f \cdot \cos\psi \cdot \left(\cos\varphi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{Mx}}{|\vec{v}_M|} \cdot r \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr + \right. \\ &\quad \left. + \sin\varphi \int_{-\frac{2}{3}l}^{\frac{1}{3}l} \frac{v_{My}}{|\vec{v}_M|} \cdot r \cdot \left(\frac{2}{3}l + r \right) dr \right), \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де $G + G_k = m_{ui} \cdot g = m_{cep} \cdot i_n \cdot d_{cep} \cdot g$ – сила ваги усього шару стебел стрічки.

Для обґрунтування параметрів розстиляльного пристрою необхідно мати залежності: $\psi = \psi(\alpha, \beta)$ та $\eta = \eta(\alpha, \beta)$. Представимо їх, згідно з рис., у вигляді:

$$\psi = \arcsin \sqrt{\frac{tg^2\alpha + ctg^2\beta}{tg^2\alpha + ctg^2\beta + 1}}; \quad \eta = \arcsin \frac{\cos\alpha \cdot \cos\beta}{\sqrt{tg^2\alpha \cdot \sin^2\beta + \cos^2\beta}}. \quad (16)$$

Кут нахилу α поверхні розстиляльного щита у поздовжньо-вертикальній площині повинен забезпечити умову руху стебел вниз, тобто їх спуск на льоновище. Швидкість $v_C \neq 0$, якщо:

$$f \leq tg\psi = \sqrt{tg^2\alpha + ctg^2\beta}. \quad (17)$$

При виконанні умови (17) координати y_C центрів мас стебел будуть постійно зростати. Отже, накопичення стебел відсутнє, якщо параметри α і β задовольняють останню умову якісного виконання процесу розстиляння стебел.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Чим більший кут α , тим швидше стебла будуть рухатись на поверхні розстиляльного пристрою і вони тоді можуть не встигати повернутись на потрібний кут. Користуючись наведеними вище міркуваннями, виконання умови (17) при довільних значеннях параметра β можливе, якщо $\alpha \approx arctgf$. Враховуючи наявний рельєф поля і значення коефіцієнта тертя ковзання стебел f [1, 2], необхідно проводити

регулювання кута α . Зауважимо, що величина f залежить від фрикційних властивостей стебел і, значною мірою, від стану робочої поверхні розстиляльного щита, яка відшліфовується внаслідок стираючої здатності стебел. За умов плоского шліфування або притирання робочої поверхні коефіцієнт тертя ковзання свіжовибраних стебел має порівняно низькі значення.

Кут нахилу β поверхні розстиляльного пристрою у поперечно-вертикальній площині повинен забезпечити умови для повертання стебел без значного їх переміщення вздовж осі Ox , при якому потрібно збільшувати розміри цієї поверхні, а це завжди небажано.

Межі регулювання параметра β можна встановити на основі аналізу поступальної і обертальної частин плоского руху стебел. Подальші дослідження будуть спрямовані на розв'язанні чисельним методом системи нелінійних диференційних рівнянь (15) і на підставі отриманих результатів будуть обґрунтовані параметри та режими роботи розстиляльного пристрою льонозбиральної машини.

1. Хайліс Г.А. Теория льноуборочных машин / Хайліс Г.А. – М.: Росинформагротех, 2011. – 322 с.
2. Хайліс Г.А. Механика растительных материалов / Хайліс Г.А. – К.: УААН, 2002. – 374 с.
3. Vanot J. La passion le lin. – Notre Dame de Gravenchon: Corlet, 2003. – 72 p.
4. Толстушко М.М. Розстиляльні пристрої льонозбиральних машин / Толстушко М.М., Хайліс Г.А., Толстушко Н.О. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2014. – 160 с.
5. Толстушко М.М. Аналіз взаємодії стрічки льону з робочою поверхнею розстиляльного пристрою / М.М. Толстушко, Г.А. Хайліс, М.С. Драган, О.В. Сидорчук, І.О. Ніщенко // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип. 13. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ. – 2005. – С. 180 – 191.
6. Пат. 100740 У Україна, МПК А 01 D 45/06. Розстиляч стрічки стебел льону льонозбирального комбайна / Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф., Харчук О.С., Толстушко М.М. (Україна). – №u201501256; заявл. 16.02.15; опубл. 10.08.15, Бюл. №15.
7. Пат. 100741 У Україна, МПК А 01 D 45/06. Розстиляльний пристрій льонозбирального комбайна / Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф., Харчук О.С., Толстушко М.М., Лімонт А.С. (Україна). – №u201501257; заявл. 16.02.15; опубл. 10.08.15, Бюл. №15.

Рецензенти:

1. **Шейченко Віктор Олександрович**, завідувач відділу перспективних технологій і технічних засобів для збирання, обробки і зберігання зернових і олійних культур Національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" Національної академії аграрних наук України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

2. **Юхимчук Сергій Федорович**, доцент кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення агропромислового комплексу Луцького національного технічного університету, кандидат технічних наук, доцент.

Стаття надійшла до редакції 25.12.2015.