УДК 631.35: 633.521
О.П.Герасимчук
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ПОДІЛЬНИКІВ З КРИВОЛІНІЙНОЮ РОБОЧОЮ КРОМКОЮ ЗІ СТЕБЛАМИ ЛЬОНУ

В результаті дослідження встановлена аналітична залежність абсолютної розтягнутості від параметрів подільників з різною конфігурацією робочої кромки.

Ключові слова: *льонобралка, подільник, пруток, робоча кромка, стебла льону.*

Постановка проблеми. Дослідженням процесу взаємодії стебел льону з подільниками льонозбиральних машин займались Г.А.Хайліс [1], М.М. Ковальов [2], О.О.Налобіна [3] та ін.

Проте дані дослідження проводились для подільників з прямолінійною робочою кромкою.

Конструкції подільників з бічними прутками складної форми у діючих машинах не застосовуються на даний час, а розглядаються лише в патентах [4, 5]. Тому обґрунтування впливу форми бічного прутка подільника на розтягнутість льону є актуальним і представляє науковий інтерес.

Мета роботи. Метою даного теоретичного дослідження є встановлення аналітичної залежності розтягнутості стебел льону, яка формується на стадії їхнього підводу до бральних рівчаків від параметрів подільника з бічними прутками криволінійної форми.

Результати дослідження. Математична модель процесу взаємодії подільника зі стеблом льону сформована при наступних припущеннях:

1. Поверхня ґрунту не містить нерівностей, тобто може бути змодельована горизонтальною площиною.

2. Стебло льону розміщене перпендикулярно до площини ґрунту, що цілком відвідає існуючим агротехнічним вимогам до цієї культури.

3. Форма бічних прутків подільника може бути описана кривою другого порядку – дугою кола радіуса R.

4. Льонобралка рухається прямолінійно зі сталою швидкістю.

5. Контакт стебла з робочою кромкою подільника у будь-який момент часу відбувається точково у площині подільника.

Розглянемо уявну модель взаємодії подільника зі стеблом льону, яка побудована з врахуванням вищенаведених припущень. На рис. 1 зображено подільник ABC з криволінійними бічними прутками шириною B (на схемі зображена лише половина подільника) і довжиною l, що рухається паралельно осі Ox з постійною швидкістю $\upsilon = const$. Висоту встановлення носика подільника над поверхнею ґрунту позначимо h, кут нахилу подільника до поверхні ґрунту xOy – α.

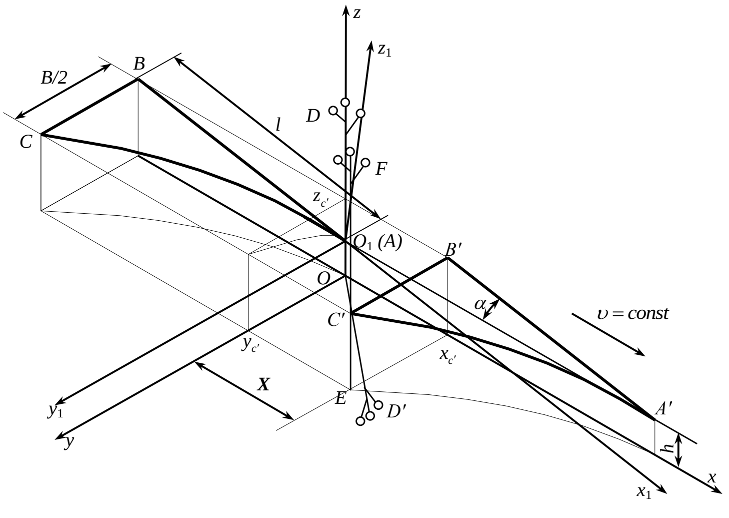

Рис. 1. Модель взаємодії подільника зі стеблом льону

Розглянемо стебло OD, що контактує з подільником в точці A і основа якого знаходиться в центрі системи координат. Під час руху льонобралки стебло ковзає по бічній поверхні подільника, відхиляється від початкового вертикального положення і підводиться до бральних рівчаків. В момент сходу стебла з кромок подільника, який перебуває в позиції $A'B'C'$, і переходу його в бральний рівчак, воно дотикається з прутком у точці C'.

Процес підводу стебел у бральний рівчак прутками подільника аналізувався в роботах [1, 2, 3]. Розтягнутість стебел льону формується саме при переході стебел з робочих кромок подільника у бральні рівчаки за рахунок того, що стебла між пасом і шківом затискаються не на одному рівні, тобто комлі стебел зміщенні. Чим більше це зміщення, тим більша розтягнутість створюється у стрічці стебел льону, яка формується у бральному рівчаку. Величина цього зміщення називається абсолютною розтягнутістю. Як видно з рис. 1 абсолютну розтягнутість стебел льону можна визначити

$$\Delta l = OC' - EC' = \sqrt{x_{C'}{}^2 + y_{C'}{}^2 + z_{C'}{}^2} - EC', \tag{1}$$

де OC' – відстань від основи стебла OD до точки C' його дотику з подільником в позиції $A'B'C'$;

EC' – відстань від основи до точки C' дотику стебла EF з подільником в позиції $A'B'C'$;

$x_{C'}$, $y_{C'}$, $z_{C'}$ – координати точки C' контакту бічного прутка подільника зі стеблом.

Врахувавши, що B – ширина подільника, l – довжина прутка, α – кут нахилу подільника до площини ґрунту, з рис. 1 визначаємо:

$$\left.\begin{aligned} x_{C'} &= X; \\ y_{C'} &= 0,5B; \\ z_{C'} &= EC' = h + l\cdot\sin\alpha, \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

де X – переміщення подільника (льонобралки) при якому відбувається підведення стебла до брального рівчака.

Формула (1) з врахуванням (2) набуде вигляду:

$$\Delta l = \sqrt{X^2 + 0,25B^2 + (h + l\cdot\sin\alpha)^2} - h - l\cdot\sin\alpha. \tag{3}$$

Для визначення абсолютної розтягнутості Δl необхідно визначити величину переміщення X.

Для розв'язку цієї задачі засобами аналітичної геометрії введемо систему координат, утворену осями O_1x_1, O_1y_1, O_1z_1, що отриману в результаті паралельного переносу системи координат з осями Ox, Oy, Oz паралельно осі Oz та наступного повороту навколо осі Oy на кут α за ходом годинникової стрілки. При цьому початок системи координат переміститься з точки O в точку O_1. Маємо:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x\cdot\cos\alpha - (z-h)\cdot\sin\alpha; \\ y_1 &= y; \\ z_1 &= x\cdot\sin\alpha + (z-h)\cdot\cos a. \end{aligned}\right\}. \tag{4}$$

Розглянемо площину $x_1O_1y_1$, в якій розміщений подільник (рис. 2). На стебло цій площині діє нормальна сила тиску з боку подільника N, направлена перпендикулярно до дотичної бічного прутка подільника, та сила тертя F_T, направлена по дотичній до бічного прутка подільника. Сумарна сила F в будь-який момент часу буде спрямована під кутом μ до нормалі бічного прутка подільника. Під дією сили F стебло буде відхилятися, і точка дотику стебла з бічним прутком подільника опише гвинтову траєкторію, проекція якої на площину $x_1O_1y_1$ буде кривою з радіусом кривизни R. Згідно прийнятих нами припущень ця траєкторія є дугою кола радіуса R.

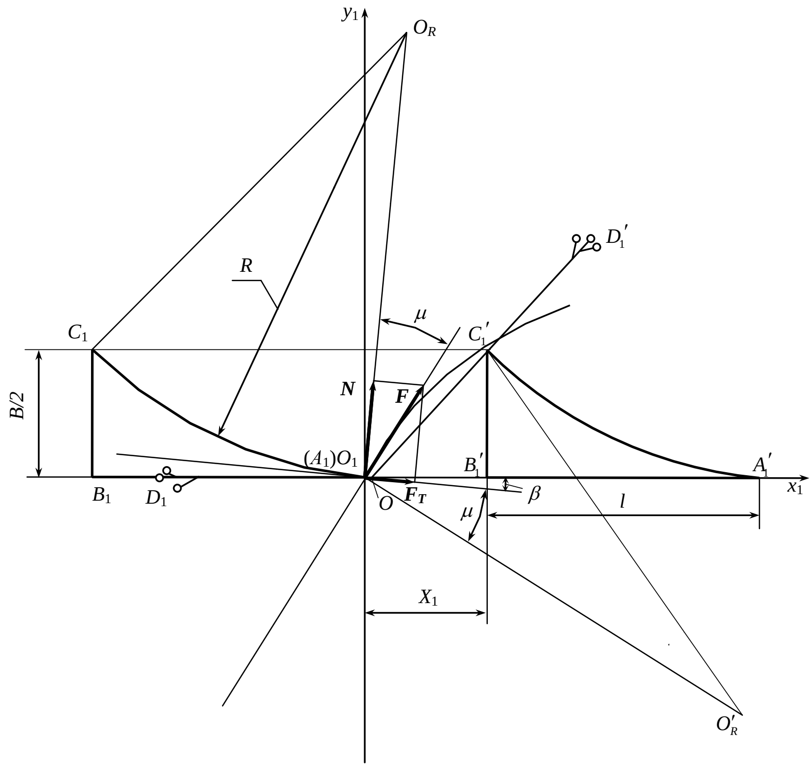

Рис. 2. До визначення проекції переміщення подільника X_1 на площину подільника

Знайдемо координати центра кола O_R, дуга якого визначає форму бічної грані подільника в положенні $A_1B_1C_1$. Відомо, що дане коло проходить через точки C_1 та A_1. Координати кола радіусом R з центром в точці $C_1(-l; B/2)$:

$$(x_1+l)^2+\left(y_1-B/2\right)^2=R^2. \tag{5}$$

Координати кола радіусом R з центром в точці $O_1(0;0)$:

$$x_1^2+y_1^2=R^2. \tag{6}$$

Так як точка O_R є спільною для кіл з центром в точці C_1 та O_1, то її координати мають задовольняти рівняння (5) та (6). Для знаходження цих координат розв'яжемо систему рівнянь:

$$\left.\begin{aligned}&(x_1+l)^2+\left(y_1-B/2\right)^2=R^2\\&x_1^2+y_1^2=R^2\end{aligned}\right\}. \tag{7}$$

Тоді координати O_R для ввігнутого подільника:

$$\left.\begin{aligned}x_{OR}&=-\frac{1}{4}\cdot\frac{2l^2B^2-B\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)}+8l^4}{l(B^2+4l^2)},\\y_{OR}&=\frac{1}{4}\cdot\frac{4l^2B+2\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)}+B^3}{B^2+4l^2};\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

для опуклого подільника:

$$\left.\begin{aligned}x_{OR}&=-\frac{1}{4}\cdot\frac{2l^2B^2+B\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)}+8l^4}{l(B^2+4l^2)},\\y_{OR}&=\frac{1}{4}\cdot\frac{4l^2B-2\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)}+B^3}{B^2+4l^2}.\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

Рівняння кола, що описує бічну грань подільника в положенні $A_1B_1C_1$, набуде вигляду:

$$(x_1 - x_{O_R})^2 + (y_1 - y_{O_R})^2 = R^2. \tag{10}$$

Знайдемо похідну функції (10) по x_1:

$$2(x_1 - x_{O_R}) + 2(y_1 - y_{O_R})y_1'(x_1) = 0. \tag{11}$$

З рівняння (11) знайдемо $y_1'(x_1)$:

$$y_1'(x_1) = \frac{x_1 - x_{O_R}}{y_{O_R} - y_1}. \tag{12}$$

Згідно геометричного змісту похідної [6] кутовий коефіцієнт дотичної до кривої, що описує форму бічного прутка подільника, в точці O_1 можна визначити:

$$k_1 = y_1'(x_{O_1}). \tag{13}$$

Підставивши (12) в (13) та врахувавши що $x_{O_1} = y_{O_1} = 0$ отримаємо

$$k_1 = \frac{-x_{O_R}}{y_{O_R}}. \tag{14}$$

Кут нахилу дотичної визначиться:

$$\beta = arctg(k_1) = arctg\left(\frac{-x_{O_R}}{y_{O_R}}\right). \tag{15}$$

З врахуванням (8) та (9) з (15) отримаємо кут нахилу дотичної в точці O_1 для ввігнутого подільника:

$$\beta = arctg\left(\frac{2l^2B^2 - B\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)} + 8l^4}{l\cdot(4l^2B + 2\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)} + B^3)}\right); \tag{16}$$

для опуклого подільника:

$$\beta = arctg\left(\frac{2l^2B^2 + B\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)} + 8l^4}{l\cdot(4l^2B - 2\sqrt{l^2(B^2+4l^2)(16R^2-B^2-4l^2)} + B^3)}\right). \tag{17}$$

Під час руху льонобралки стебло ковзає по робочій кромці подільника під дією сили F, яка направлена по дотичній до траєкторії переміщення точки контакту стебла $C_1'O_1$. Ця траєкторія є дугою кола радіусом R з центром в точці $O_{R'}$. Рівняння прямої $O_1O_{R'}$, що проходить через початок координат O_1 запишемо у вигляді

$$y_1 = kx_1, \tag{18}$$

де k – кутовий коефіцієнт прямої $O_1O_{R'}$

Так як лінія дії сили F дотична до кола, то $O_1O_{R'}$ перпендикулярно силі F і, як видно з рис. 2, кутовий коефіцієнт визначиться:

$$k = tg(\beta + \mu); \tag{19}$$

де μ – кут тертя льону і бічного прутка подільника.

Точка $O_{R'}$ лежить на перетині кола з центром в точці O_1 та прямої $O_1O_{R'}$, а отже її координати задовольняють рівняння (6) та (18). Для знаходження координат точки $O_{R'}$ розв'яжемо систему рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} x_1^2 + y_1^2 = R^2, \\ y_1 = kx_1. \end{aligned}\right\}. \tag{20}$$

Розв'язавши систему рівнянь (20) отримаємо для ввігнутого подільника

$$x_{O'_R} = \frac{1}{\sqrt{1+k^2}} R, \quad y_{O'_R} = \frac{k}{\sqrt{1+k^2}} R; \tag{21}$$

для опуклого подільника:

$$x_{O'_R} = \frac{-1}{\sqrt{1+k^2}} R, \quad y_{O'_R} = \frac{-k}{\sqrt{1+k^2}} R. \tag{22}$$

Враховуючи (19) і здійснивши тотожні тригонометричні перетворення, отримаємо для ввігнутого подільника%

$$x_{O'_R} = R \cdot \cos(\beta - \mu), \quad y_{O'_R} = R \cdot \sin(\beta - \mu). \tag{23}$$

для опуклого подільника%

$$x_{O'_R} = -R \cdot \cos(\beta - \mu), \quad y_{O'_R} = -R \cdot \sin(\beta - \mu). \tag{24}$$

Отже, рівняння кола, дуга якого визначає траєкторію точки контакту стебла з робочою кромкою для ввігнутого подільника:

$$(x - R \cdot \cos(\beta - \mu))^2 + (y - R \cdot \sin(\beta - \mu))^2 = R^2; \tag{25}$$

для опуклого подільника:

$$(x + R \cdot \cos(\beta - \mu))^2 + (y + R \cdot \sin(\beta - \mu))^2 = R^2. \tag{26}$$

Величина X_1 з рис. 2 переміщення подільника в площині x_1Oy_1:

$$X_1 = x_{C'_1}, \tag{27}$$

де $x_{C'_1}$ – абсциса точки C'_1, ордината якої $y_{C'_1} = B/2$.

Так як точка C'_1 належить дузі кола C'_1O_1 (то її координати задовольняють рівняння (25) та (26).

Підставивши в рівняння (25) та (26) координати точки C'_1 та врахувавши (27), а також виходячи з геометричних міркувань (рис. 2) отримаємо для ввігнутого подільника

$$X_1 = R \cdot \cos(\beta - \mu) - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2\cos^2(\beta - \mu) - B^2 + 4BR\sin(\beta - \mu)}. \tag{28}$$

для опуклого подільника

$$X_1 = -R \cdot \cos(\beta - \mu) + \frac{1}{2}\sqrt{4R^2\cos^2(\beta - \mu) - B^2 - 4BR\sin(\beta - \mu)}. \tag{29}$$

Для переходу до початкової системи координат $xOyz$, необхідно здійснити перетворення, зворотне перетворенню (4):

$$\left.\begin{aligned} x &= x_1 \cdot \cos\alpha + z_1 \cdot \sin\alpha, \\ y &= y_1, \\ z &= -x_1 \cdot \sin\alpha + z_1 \cdot \cos a + h. \end{aligned}\right\} \tag{30}$$

Тобто

$$X = X_1 \cdot \cos\alpha + z_{C'_1} \cdot \sin\alpha, \tag{31}$$

де $z_{C'_1}$ – координата точки C' у системі координат $x_1O_1y_1z_1$.

З перетворення (4) маємо:

$$z_{C'_1} = X \cdot \sin\alpha + (z_{C'} - h) \cdot \cos a = X \cdot \sin\alpha + l \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha, \tag{32}$$

де $z_{C'} = l \cdot \sin a + h$ – координата точки C' у системі координат $xOyz$.

Підставивши (32) у (31) та здійснивши перетворення отримаємо:

$$X = \frac{X_1}{\cos\alpha} + l \cdot \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}.. \tag{33}$$

Підставивши (28) та (29) у (33) остаточно отримаємо для ввігнутого подільника:

$$X = \frac{R \cdot \cos(\beta - \mu) - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2\cos^2(\beta - \mu) - B^2 + 4BR\sin(\beta - \mu)}}{\cos\alpha} + l \cdot \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}, \tag{35}$$

для опуклого подільника:

$$X = \frac{-R\cdot\cos(\beta-\mu)+\frac{1}{2}\sqrt{4R^2\cos^2(\beta-\mu)-B^2-4BR\sin(\beta-\mu)}}{\cos\alpha}+l\cdot\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}. \qquad (36)$$

Розтягнутість льону визначаємо за формулою (3) попередньо визначивши параметри β, X за формулами (16) 35) для ввігнутого подільника та (17) (36) для опуклого подільника.

На рис. 3 наведенні залежності абсолютної розтягнутості для ввігнутої (×—×—×) та опуклої (-□--□--□-) форми бічного прутка подільника, отриманні за допомогою програми MathCAD 13.

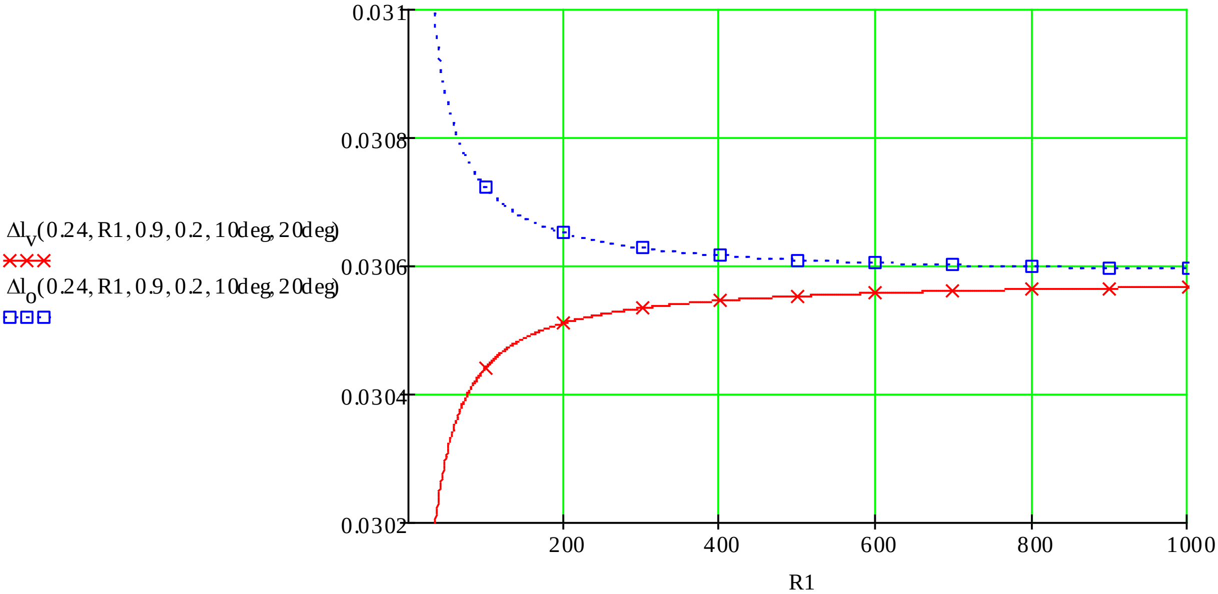

Рис. 3. Залежність абсолютної розтягнутості льону від радіусу кривизни бічного прутка для опуклого і ввігнутого подільника

З рис. 3 можна бачимо, що збільшення радіуса кривизни бічної грані ввігнутого подільника веде до збільшення розтягнутості, опуклого подільника – до зменшення розтягнутості.

Висновок. В результаті проведеного аналітичного дослідження було встановлено, що ввігнута форма бічного прутка подільника забезпечує меншу абсолютну розтягнутість ніж опукла та прямолінійна форма бічного прутка.

1. Хайлис Г. А. Теория и расчет льноуборочных машин / Гедаль Абрамович Хайлис. – Елгава, 1973. – 334 с. – (Труды Великолукского сельхозинститута; выпуск XXVI).
2. Ковалев М.М. Повышение эффективности льноуборочного комбайна путем разработки прямоточного теребильного аппарата: дис. ... канд. техн. наук / Ковалев М.М.. – Торжок, 1988. – С.222.
3. Налобіна О. О. Механіко–технологічні основи взаємодії робочих органів льонозбирального комбайна з рослинним матеріалом: дис. … доктора техн. наук: 05.05.11 / Налобіна Олена Олександрівна. – К., 2008. – 341 с.Пат. 2005340 Российская Федерация, МПК^7 A 01 D 45 / 06. Делитель льноуборочной машины / [Ковалев М. М., Смирнов А. С., Платов В. И., и др.]; заявитель и патентообладатель Центральный научно-исследовательский, проектно-технологический институт механизации льноводства. – №4928362/15; заяв. 17.04.91; опубл. 15.01.94.
4. Пат. 2297754 Российская Федерация, МПК^7 A 01 D 45 / 06, A 01 D 63 / 00. Делитель льноуборочной машины / [Ковалев М. М., Лачуга Ю. Ф., Кудрявцев В. В. и др.]; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский, проектно-технологический институт механизации льноводства Россельхозакадемии. – №2005129047/12; заяв. 16.09.05; опубл. 27.04.07, Бюл. № 12.
5. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления. 13 изд. (В двух томах).
6. Пискунов Н. С. – М., Наука, Физматлит, 1985. Т. 1– 432 с., Т. 2 – 560 с.