

УДК 631.521

© С.Ф. Юхимчук, к.т.н., С.М. Юхимчук, М.М. Толстушко, к.т.н.
Луцький національний технічний університет

ЕНЕРГЕТИКА ПРОЦЕСУ БРАННЯ СТЕБЕЛ ЛЬОНУ

У статті теоретично досліджено енергетику процесу брання стебел льону, які затискаються у поперечному криволінійному бральному рівчаку і розташовані в різних місцях пучка; вивчено динаміку зміни складових потужності брання при переміщенні стебла льону по бральному рівчаку; визначено секундну роботу брання та значення її складових.

Постановка проблеми. У розробленому під керівництвом проф. Хайліса Г.А. універсальному льонозбиральному комбайні використаний бральний апарат з криволінійними поперечними бральними рівчаками (рис. 1).

В цьому апараті стебла льону затискаються між бральним пасом 1 і бральними дисками 2 (перший, другий, третій бральні рівчаки) та між бральним пасом 1 і пасом вивідної секції 4 (четвертий бральний рівчак). Навпроти буртиків притискних роликів розміщені підпружинені піддержувальні прутки.

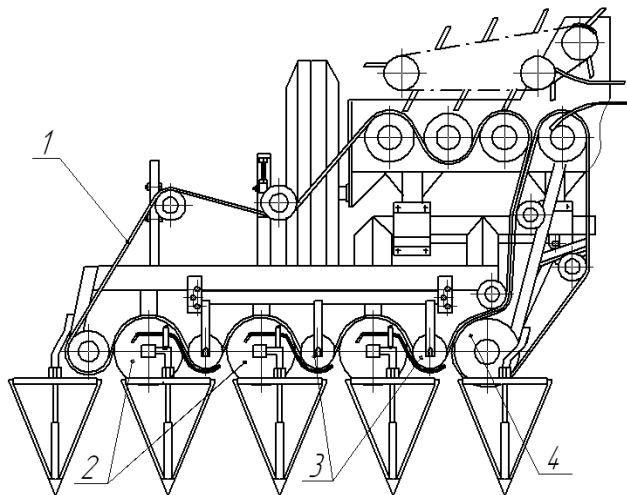


Рис. 1 – Льнобральний апарат з поперечними бральними рівчаками: 1 – бральний пас; 2 – бральні диски; 3 – притискні ролики; 4 – вивідна секція

Створення нового брального апарату з криволінійними поперечними рівчаками ставить перед нами задачі обґрунтування його параметрів, вивчення дії робочих органів на стебла льону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що при механізованому збиранні льону загальна потужність, яка йде на витягування стебел з ґрунту, складається із потужності на привод робочих органів брального апарата та потужності на переміщення апарата по полю.

Летошнев М.Н. [1] досліджував потребу в силі і потужності на брання льону, вивів формулу для визначення секундної витрати енергії на брання стебел:

$$N = Bv_M iT_{cp} a, \quad (1)$$

де B – ширина захвату брального апарата;

v_M – швидкість агрегата;

i – густина стеблостою;

T_{cp} – середня сила брання стебла з ґрунту;

a – довжина шляху дії сили брання.

Також, вчений дослідив [1] завантаження брального апарата роботою брання, яка залежить від кута нахилу стебла у

бральному рівчаку. Ці дослідження стосувались тільки прямолінійних поздовжніх бральних апаратів.

За Хайлісом Г.А. [2] потужність, що витрачається на привод брального паса машини ТЛН-1,5 з поперечними бральними рівчаками для брання стебел, рівна:

$$N_p = v_p (S_n - S_o). \quad (2)$$

де v_p – швидкість брального паса;

S_n – сила натягу паса при виході з n -го рівчака;

S_o – сила натягу веденої вітки паса.

Під керівництвом Хайліса Г.А. проведені динамометрування льонозбиральних машин. Встановлено, що тяговий опір бральних агрегатів і крутий момент на валу збільшується зі зростанням швидкості руху агрегата. Продовжуючи вивчення енергетики апаратів з поздовжніми бральними рівчаками нами [3] дано теоретичні обґрунтування залежності розподілу складових потужності брання від кута нахилу стебла, що витягується з ґрунту.

Однак при цьому не враховано криволінійну будову бральних рівчаків, розглядалися тільки можливі нахили центральних стебел, не вивчено динаміку зміни складових потужності брання при переміщенні стебла льону по бральному рівчаку.

Мета дослідження – провести теоретичні дослідження енергетики процесу брання стебел льону бральним апаратом з криволінійними поперечними бральними рівчаками.

Результати дослідження. Бральний апарат в силу своїх конструктивних особливостей взаємодіє зі стеблами льону при бранні таким чином, що пас здійснює лише частину роботи на витягування стебел. Інша частина роботи виконується за рахунок переносного поступального руху машини.

Потужність, що використовується при цьому, визначається за формулою [3]:

$$N = N_p + N_M = TV_p \cos(\bar{T}, \bar{V}_p) + TV_M \cos(\bar{T}, \bar{V}_M), \quad (3)$$

де N_p і N_M – потужності, що передаються бральному пасу і машині на витягування стебла з ґрунту;

T – сила витягування стебла льону з ґрунту;

\bar{T}, \bar{V}_p і \bar{T}, \bar{V}_M – кути між векторами сили T та швидкостей брального паса V_p і агрегату V_M .

Вектор сили T напрямлений по стеблу у бік його витягування.

Сила T залежить від багатьох факторів (властивостей ґрунту, сорту льону, характеристик стебел льону, густини стеблостою) і визначається експериментально. Значення цієї сили T по мірі витягування кореня стебла з ґрунту змінюється. Однією з найхарактерніших залежностей сили T від довжини витягування стебла $\Delta\rho$ є параболічна [1], за якою сила T зі збільшенням $\Delta\rho$ зростає, досягає максимуму (T_{max}) і падає.

Формула цієї залежності наступна:

$$T = 4T_{max} \frac{\Delta\rho}{a} \left(1 - \frac{\Delta\rho}{a}\right), \quad (4)$$

де a – довжина шляху дії сили (довжина, на яку потрібно витягнути стебло з ґрунту до повного відриву кореня).

Як констатувалось раніше за [1] $T_{max}=5$ Н, $a = 0,05$ м. Також робимо припущення, що кут нахилу стебла при бранні не впливає на значення T_{max} .

На рис. 2, *а* і *б* зображено схеми будови і роботи частини брального рівчака, де проходить брання стебел. Стебла льону затискаються між бральним пасом і диском в зоні *AB*, яка характеризується кутом α . Тут початок координат співпадає з проекцією точки *A* на площину *XOY*. Пунктиром вказано можливу зону розташування в ґрунті коренів стебел, що попадають у гирло брального рівчака.

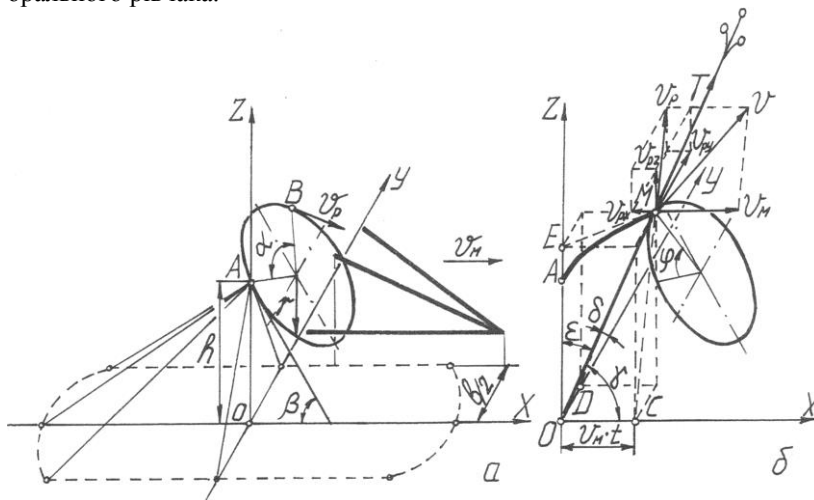


Рис. 2 – Схема роботи брального апарата

На рис. 2, б зображено положення брального диска через деякий час t . За цей час бральний апарат перемістився на відстань, рівну $V_M t$, а бральний диск під впливом брального пасу повернувся на кут $\varphi = V_p t / r$. При цьому затиснуте у точці M з координатами $(X_n; Y_n; Z_n)$, стебло льону утворює з координатними осями відповідні кути: кут γ з віссю OX , кут δ з віссю OY і кут ε з віссю OZ .

Місце розташування в ґрунті кореневої частини стебла визначається точкою O з координатами $(X; Y)$.

Із точки M виходять такі вектори: T, V, V_M, V_p , де V – вектор абсолютної швидкості переміщення точки M у просторі $V = V_M + V_p$. Проекції вектора V_p на координатні осі (рис. 2, б) V_{px}, V_{py}, V_{pz} , знаходяться з рівнянь системи:

$$\left. \begin{aligned} V_{px} &= V_p \sin \varphi \cos \beta, \\ V_{pz} &= V_p \sin \varphi \sin \beta, \\ V_{py} &= V_p \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

З рис. 2, б видно, що вектори цих проекцій утворюють із стеблом льону ті ж самі кути, що і відповідні ним осі координат. Тоді рівняння (3) набере вигляд:

$$N = N_p + N_M = T(V_{px} \cos \gamma + V_{py} \cos \delta + V_{pz} \cos \varepsilon) + TV_M \cos \gamma. \quad (6)$$

Із прямокутного трикутника OCM (рис. 2, б) $OM = \rho_n$ – відстань від точки M до точки O , а $OC = X_n - X$. Звідси:

$$\cos \gamma = \frac{OC}{OM} = \frac{X_n - X}{\rho_n}. \quad (7)$$

Аналогічно з трикутника ODM :

$$\cos \delta = \frac{MD}{MM} = \frac{Y_n - Y}{\rho_n}. \quad (8)$$

І з трикутника OEM :

$$\cos \varepsilon = \frac{OE}{OM} = \frac{Z_n}{\rho_n}. \quad (9)$$

Підставляючи у рівняння (6) замість відповідних його елементів вирази для їх обчислень (7) - (9) отримали систему рівнянь для обчислення потужностей:

$$\left. \begin{aligned} N_p &= T \left(V_{px} \frac{X_n - X}{\rho_n} + V_{py} \frac{Y_n - Y}{\rho_n} + V_{pz} \frac{Z_n}{\rho_n} \right); \\ N_M &= TV_M \frac{X_n - X}{\rho_n}; \\ N &= N_p + N_M. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

За рівняннями (10), користуючись для знаходження їх елементів формулами (4) і (5), з метою оперативного отримання результатів розрахунків за різноманітними можливими комбінаціями початкових параметрів розроблена програма для ПЕОМ [3]. Ця програма дозволяє прослідкувати зміну потужності N і розподіл її складових N_p і N_M від повороту брального диска на кут $\varphi \in [-\alpha/2; \alpha/2]$, при бранні стебел з відповідними координатами X , Y точок розташування коренів. При цьому враховувалось те, що брання стебла проходить за умови:

$$0 \leq \rho_n - \rho_o \leq a. \quad (11)$$

При $\Delta\rho > a$ відбувається повне витягування стебла льону (N , N_p і N_M рівні нулю).

В цій програмі була розроблена підпрограма для знаходження роботи A , що йде на брання стебла, а також показника η , що рівний відношенню частини роботи, яка виконується бральним пасом, до частини роботи, що припадає на тягове зусилля трактора.

Графічно робота A , а також і її складові A_p та A_M , є площа фігури, помножена на R/V_p , що утворені відповідними кривими залежності N , а також N_p і N_M від кута повороту брального диска φ і віссю φ при $N > 0$ (рис. 3).

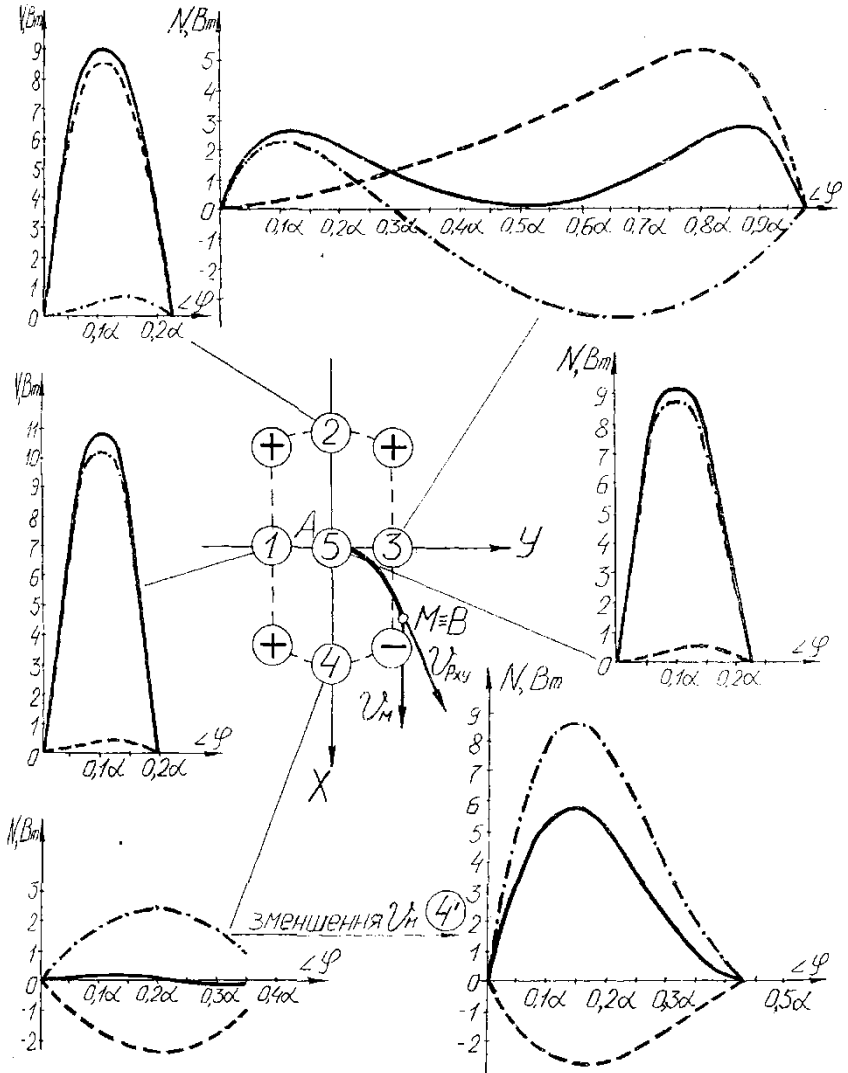


Рис. 3 – Розподіл потужностей при бранні стебла:
 $-\dots-$ - N_p , $-\dots-$ - N_m , $-\underline{\hspace{1cm}}$ - N

Формули для обчислення A , A_p та A_m мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} A &= \int_0^t N dt = \frac{R}{V_p} \int_{\varphi_0}^{\varphi} N d\varphi = \frac{R}{V_p} \sum_{i=0}^n \left(N_i \cdot \frac{\varphi - \varphi_0}{n} \right), \\ A_p &= \frac{R}{V_p} \sum_{i=0}^n \left(N_{p_i} \cdot \frac{\varphi - \varphi_0}{n} \right), \\ A_M &= \frac{R}{V_p} \sum_{i=0}^n \left(N_{M_i} \cdot \frac{\varphi - \varphi_0}{n} \right). \end{aligned} \right\} (12)$$

при $N \geq 0$,

де t – час, що відповідає повороту брального диска на кут $\varphi - \varphi_0$.

Досліджувалась енергетика брання стебел льону розроблюваним бральним апаратом при таких його параметрах: $\beta = 1,047$ рад, $\alpha = 2,618$ рад, $R = 0,11$ м, $h = 0,2$ м, $b = 0,35$ м, $V_M = 2,01$ м/с, враховуючи, що для стебел льону $T_{max} = 5$ Н і $a = 0,05$ м.

Посередині рис. 3 у масштабі зображено проекцію на горизонтальній площині XOY траєкторії переміщення точки M затискання стебла у бральному рівчаку при повороті брального диску на кут α , з точки M показані проекції швидкостей V_{pxy} і V_M ; пунктиром вказано можливу зону розташування в ґрунті коренів стебел, що попадають у гирло брального рівчака при мінімальному куті нахилу стебел до горизонту 30° і ширині захоплення бральної секції $b = 0,35$ м.

Розглядались вибірково координати (X ; Y) стебел, корені яких розташовані на границі і у центрі умовної зони та позначені кружечками (рис. 2, б). За отриманими результатами для стебел 1, 2, 3, 4, 5 побудовані графіки розподілу потужностей N_p , N_M , N в залежності від кута повороту φ брального диска. Брання не відбудеться тільки для стебла 4. Цьому можна зарадити зменшуючи поступальну швидкість машини V_M . Так, при $V_M = 0,69$ м/с брання цього стебла забезпечується (випадок 4^с на рис. 3). У решті випадків знаком " + " позначені місця розташування в ґрунті коренів стебел, для яких дані параметри брального апарата повністю забезпечують умову брання $\Delta\rho > a$. Знаком " – " вказане стебло, для якого повного брання не досягнуто.

Із графіків рис. 3 видно, як в залежності від розташування в ґрунті стебел, розподіляється потужність брання між завантаженням брального паса і тяговим зусиллям машини. Можливі випадки, коли одна із складових потужності N_p приймає від'ємні значення (стебло 3 і 4). Це явище розглядалось в [3] і

вказує на циркуляцію потужності. Так при бранні стебла 3 частина потужності N_M , що не задіяна на витягування стебла, передається через бральний пас і механізм приводу назад двигуну. Для стебла 4 деяка частина потужності N_p , що не задіяна бранням, використовується для переміщення машини, при цьому відповідно зменшується тягове зусилля агрегату.

Як показали проведені розрахунки робота брання не залежить від розміщення стебел у елементарному пучку і у всіх випадках рівна 0,16 Дж.

Так, як при роботі брального апарату на прямостоячому льоні, стебла, що утворюють елементарний пучок [1], знаходяться у третьому і в четвертому октантах (рис. 3), то побудовані для них графіки ще раз підтвердили, що вибрані параметри апарата повністю задовольняють вимоги процесу брання.

Розглядаючи граничні стебла цього пучка, що відмічені точками на рис. 3, а саме отримані при їх бранні значення A_p та A_n , можна взнати як розподілена енергія, що припадає на привод брального пасу і переміщення машини при бранні пряморослого льону.

$$\eta_{-p} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi}}{\sum_{i=1}^n A_{Mi}}. \quad (13)$$

В даному випадку $\eta_{cp} = 0,219$.

За одну секунду бральним апаратом витягується кількість стебел J_c , що рівна:

$$J_c = B V_M t i, \quad (14)$$

В нашому випадку при $B = 1,4$ м, $V_M = 1,01$ м/с, $t = 1$ с, прийнявши i рівним 1600 стебел на м², отримано, що за 1 секунду вибирається $j_c = 4502,4$ стебел. Тоді секундна робота брання буде рівна:

$$A_c = A j_c = 0,16 \cdot 4502,4 = 730,4 \text{ Дж}. \quad (15)$$

Враховуючи те, що $A_c = A_{pc} + A_{mc}$ і $\eta_{cp} = A_{pc}/A_{mc}$ отримано наступні залежності:

$$A_{pc} = A_c \eta_{cp} / (1 + \eta_{cp}) \quad \text{і} \quad A_{mc} = A_c / (1 + \eta_{cp}) \quad (16)$$

з яких визначають $A_{pc} = 131,39$ Дж; $A_{mc} = 599,01$ Дж.

При роботі апарату на полеглому льоні в гирло бральних рівчаків попадають стебла льону, нахилені проти руху машини, тобто корені яких для розглядуваного випадку розташовані у першому і другому октантах (рис. 3). Брання цих стебел можна забезпечити як зміною поступальної швидкості машини (випадок 4' рис. 3), що не є доцільним через зменшення продуктивності агрегату, так і збільшенням зони затискання стебел у бральному рівчаку.

Висновки. Приведено графічні залежності розподілу потужності брання між завантаженістю брального паса і тяговим зусиллям машини. Розрахунки підтвердили, що вибрані параметри апарата повністю задовольняють вимоги процесу брання. Робота брання не залежить від розміщення стебел у елементарному пучку і у всіх випадках рівна 0,16 Дж.

Література

1. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины // Теория, расчет, проектирование и испытание. - М.: Сельхозгиз, 1955.- 764 с., ил.
2. Льюноборочные машины / Хайлис Г.А., Быков Н.Н., Бухаркин В.Н. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с., ил.
3. Юхимчук С.Ф. Обґрунтування параметрів і дослідження роботи льнобральних апаратів з поперечними рівчачками: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Юхимчук Сергій Федорович. – Луцьк, 1998. – 200 с.