УДК 631.35:633.521 DOI 10.36910/775.24153966.2022.74.27

О.О. Чайка
Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ СТЕБЛОВОЇ СТРІЧКИ ЛЬОНУ З КРИВОЛІНІЙНИМ ПАЛЬЦЕМ КОМБІНОВАНОГО ПІДБИРАЧА

В статті наведено результати аналізу взаємодії стеблової стрічки льону з криволінійним пальцем комбінованого підбирального апарата рулонного прес-підбирача. Наведено аналітичні залежності для визначення параметрів і режимів роботи робочих органів комбінованого підбирального апарата рулонного прес-підбирача.

Ключові слова: *рулонний прес-підбирача, комбінований підбиральний апарат, криволінійний палець, відривання, підбирання, льоновище, стрічка стебел льону.*

O.O. Chaika

ANALYSIS OF THE INTERACTION OF THE FLAX STEM TAPE WITH THE CURVED FINGER OF THE COMBINED PICK-UP

The article presents the results of the analysis of the interaction of the flax stem tape with the curved finger of the combined picking device of the round baler. Analytical dependencies are given for determining the parameters and modes of operation of the working bodies of the combined picking apparatus of the roller baler. Improving the quality of work of flax-harvesting machines is an important task in the flax industry, which can be solved thanks to the improvement of known and the development of new working bodies of such machines. For this, it is necessary to deeply analyze the interaction of the working bodies of the machines with the flax stalks. And then, on the basis of the obtained results of the analysis, the parameters and modes of operation of the working bodies of the machines are substantiated. The operation of various picking devices of flax harvesting machines was the object of research by many scientists, but along with this, the research of individual phenomena was not sufficiently covered in the sources of information. Thus, the combined picking devices of flax harvesters with working bodies in the form of curved fingers, which interact with the stem ribbon of flax, tear it off from the vegetation cover of the flax field, have not been studied much. In many well-known studies, such assumptions were made that did not allow real analysis of the studied phenomena.

Key words: *roller baler, combined pick-up device, curved finger, separation, pick-up, flax field, flax stalk tape.*

Постановка проблеми. Поліпшення якості роботи льонозбиральних машин є важливим завданням у льонарстві, яке може бути вирішене завдяки удосконаленню відомих і розробленню нових робочих органів таких машин. Для цього потрібно глибоко проаналізувати взаємодію робочих органів машин зі стеблами льону. А далі, на підстав одержаних результатів аналізу, обґрунтовуються параметри і режими роботи робочих органів машин [1-8].

Перетворення лляної соломи у лляну тресту переважно відбувається в польових умовах. Для цього стебла льону розстилаються на льоновищі і під час вилежування у стрічках проростають травою та бур'янами. Після приготування лляної трести відбувається її механізоване підбирання і тут виникають певні труднощі, які пов'язані з тим, що стеблова стрічка зв'язується з рослинним покривом льоновища, тобто ніби прилипає до нього. Робочі органи льонозбиральних машин відривають стеблову стрічку льонотрести від рослинного покриву льоновища. Для цього застосовуються підбиральні апарати з пальцевими робочими органами, які долають сили зчеплення стрічки стебел льонотрести з поверхнею льоновища. Доволі часто тут спостерігаються значні пошкодження і втрати льоносировини, внаслідок чого погіршується якість роботи машин. Для поліпшення якості підбирання льонотрести з поверхні льоновища актуальним завданням є вдосконалення підбиральних апаратів льонозбиральних машин та обґрунтування їх параметрів і режимів роботи завдяки розкриттю взаємодії робочих органів цих апаратів зі стебловою стрічкою льону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота різних підбиральних апаратів льонозбиральних машин була об'єктом досліджень багатьох вчених [1-8], але поряд з цим дослідження окремих явищ недостатньо висвітлювались у джерелах інформації. Так, мало вивчались комбіновані підбиральні апарати льонозбиральних машин з робочими органами у вигляді криволінійних пальців, які взаємодіючи зі стебловою стрічкою льону відривають її від рослинного покриву льоновища. У багатьох відомих дослідженнях були прийняті такі допущення, які не дозволяли реально проаналізувати досліджувані явища.

Постановка завдань. Мета дослідження – проаналізувати взаємодію стеблової стрічки льону з криволінійним пальцем комбінованого підбирача та встановити аналітичні залежності необхідні для визначення його параметрів.

© О.О. Чайка

Викладення основного матеріалу. На рисунку наведена схема для аналізу взаємодії стрічки стебел льону з криволінійним пальцем комбінованого підбирального апарата рулонного прес-підбирача. Криволінійний палець підбирача, який зображено у вигляді кривої EK, жорстко закріплено на диску радіусом O_nE. Палець з диском обертається проти руху годинникової стрілки навколо осі, що перпендикулярна площині руху рулонного прес-підбирача і проходить через точку O_n. Рулонний прес-підбирач з комбінованим підбиральним апаратом рухається зі змінною швидкістю v_n в напрямку осі O_1x_1 інерціальної системи координат $O_1x_1y_1$. З диском радіусом O_nE жорстко пов'язана плоска система координат O_nxy, причому вісь O_nx проходить через точку K кривої EK, тобто через кінець криволінійного пальця. Криволінійний палець EK здійснює обертальний рух з диском O_nE у вертикальній площині з кутовими – швидкістю ω_n та прискоренням ε_n. На рисунку кут φ між вертикаллю та віссю O_nx визначає положення пальця. На криволінійному пальці EK перебуває елемент стрічки льону C, який має вигляд групи стебел. Розглядаємо цей елемент C як матеріальну точку масою $m_{ст}$. Відстань O_nC позначимо ξ, а гострий кут між лініями O_nK та O_nC позначимо ψ. З точкою C пов'язана плоска система координат $C\tau n$, причому вісь $C\tau$ дотична до кривої EK, а вісь Cn перпендикулярна $C\tau$ і напрямлена вздовж радіуса кривини пальця в даному положенні.

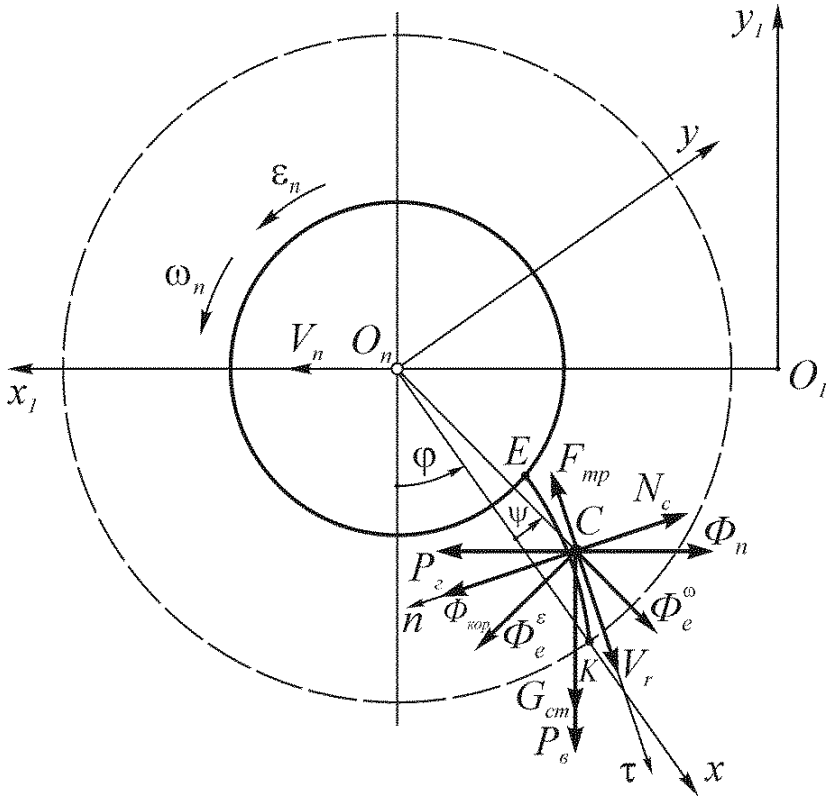

Рис. 1. **Схема для аналізу взаємодії криволінійного пальця комбінованого підбирального апарата рулонного прес-підбирача зі стрічкою стебел льону**

Будемо розглядати взаємодію криволінійного пальця комбінованого підбирача з елементом стеблової стрічки C. Застосуємо тут основне рівняння динаміки відносного руху матеріальної точки у проекціях на осі рухомої системи координат O_nxy [9]:

$$\left.\begin{aligned} m\cdot\ddot{x}_C &= F_x + R_x + \Phi_{ex} + \Phi_{корх};\\ m\cdot\ddot{y}_C &= F_y + R_y + \Phi_{ey} + \Phi_{кору},\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

© О.О. Чайка

де $m = m_{ст}$ – маса елемента стрічки стебел C;

$\ddot{x}_C$, $\ddot{y}_C$ – проекції вектора відносного прискорення елемента стрічки стебел C відповідно на осі $O_n x$ та $O_n y$;

F_x, F_y – проекції усіх активних сил, які діють на елемент стрічки стебел C, відповідно на осі $O_n x$ та $O_n y$;

R_x, R_y – проекції усіх реакцій в'язей, які накладаються на елемент стрічки стебел C, відповідно на осі $O_n x$ та $O_n y$;

Φ_{ex}, Φ_{ey} – проекції переносної сили інерції відповідно на осі $O_n x$ та $O_n y$;

$\Phi_{корх}$, $\Phi_{кору}$ – проекції коріолісової сили інерції відповідно на осі $O_n x$ та $O_n y$.

На елемент стрічки стебел C діють такі активні сили: сила ваги $G_{ст} = m_{ст} \cdot g$ (тут g – прискорення вільного падіння); сила P, яка характеризує зчеплення стебел у стрічці між собою та з рослинним покривом льоновища. Сила P буде залежати від характеристик стрічки стебел льону, льоновища та кута повороту криволінійного пальця φ. Для зручності силу P розкладемо на дві складові – вертикальну $P_в$ та горизонтальну $P_г$ (рис.). Сила P є силою корисного (технологічного) опору, а тому напрями її складових $P_в$ і $P_г$ вибрані саме такими. Значення $P_в$ і $P_г$ визначаються експериментально.

Зі сторони криволінійного пальця EK на елемент стрічки стебел C діють такі силові фактори: нормальна реакція N_c, сила тертя ковзання $F_{тр}$. Сила $F_{тр}$ напрямлена паралельно осі $C\tau$, але у протилежний бік відносної швидкості v_r елемента стрічки стебел C. Тут $F_{тр} = f \cdot N_c$, де f – коефіцієнт тертя ковзання стрічки льону на поверхні криволінійного пальця.

Переносна сила інерції Φ_e складається з трьох складових Φ_e^{ω}, Φ_e^{ε} та Φ_n (рис.). Складова $\Phi_e^{\omega} = m_{ст} \cdot \omega_n^2 \cdot \xi$, де $\xi = O_n C$ – відстань між точками O_n і C. Складова $\Phi_e^{\varepsilon} = m_{ст} \cdot \varepsilon_n \cdot \xi$. Кутова швидкість диска з пальцем $\omega_n = d\varphi/dt = \dot{\varphi}$, а його кутове прискорення $\varepsilon_n = d^2\varphi/dt^2 = \ddot{\varphi}$. Складова $\Phi_n = m_{ст} \cdot d\mathrm{v}_n/dt = m_{ст} \cdot d^2 x_1/dt^2 = m_{ст} \cdot \ddot{x}_1$ виникає через зміну швидкості v_n рулонного прес-підбирача під час його роботи на льоновищі.

Коріолісова сила інерції $\Phi_{кор} = 2 \cdot m_{ст} \cdot \omega_n \cdot \mathrm{v}_r = 2 \cdot m_{ст} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2}$.

Згідно зі схемою на рисунку та системою (1), отримаємо:

$$\left.\begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_C = &\left(G_{ст} + P_в\right) \cdot \cos\varphi - \left(P_г - \Phi_n\right) \cdot \sin\varphi - F_{тр} \cdot \frac{\dot{x}_C}{\mathrm{v}_r} + \left(N_c - \Phi_{кор}\right) \cdot \frac{\dot{y}_C}{\mathrm{v}_r} + \\ &+ \Phi_e^{\omega} \cdot \cos\psi + \Phi_e^{\varepsilon} \cdot \sin\psi; \\ m \cdot \ddot{y}_C = &-\left(G_{ст} + P_в\right) \cdot \sin\varphi - \left(P_г - \Phi_n\right) \cdot \cos\varphi + F_{тр} \cdot \frac{\dot{y}_C}{\mathrm{v}_r} + \left(N_c - \Phi_{кор}\right) \cdot \frac{\dot{x}_C}{\mathrm{v}_r} + \\ &+ \Phi_e^{\omega} \cdot \sin\psi - \Phi_e^{\varepsilon} \cdot \cos\psi. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Після підстановки у систему (2) усіх величин та спрощення, отримаємо:

© О.О. Чайка

$$\left.\begin{aligned}
\ddot{x}_C &= \left(g+\frac{P_в}{m_{ст}}\right)\cdot cos\varphi-\left(\frac{P_г}{m_{ст}}-\ddot{x}_1\right)\cdot sin\varphi-\frac{N_c}{m_{ст}}\cdot\frac{\left(f\cdot\dot{x}_C-\dot{y}_C\right)}{\sqrt{\dot{x}_C^2+\dot{y}_C^2}}-2\cdot\dot{\varphi}\cdot\dot{y}_C+\\
&\quad+\xi\cdot\left(\dot{\varphi}^2\cdot cos\psi+\ddot{\varphi}\cdot sin\psi\right);\\
\ddot{y}_C &= -\left(g+\frac{P_в}{m_{ст}}\right)\cdot sin\varphi-\left(\frac{P_г}{m_{ст}}-\ddot{x}_1\right)\cdot cos\varphi+\frac{N_c}{m_{ст}}\cdot\frac{\left(f\cdot\dot{y}_C+\dot{x}_C\right)}{\sqrt{\dot{x}_C^2+\dot{y}_C^2}}-2\cdot\dot{\varphi}\cdot\dot{x}_C+\\
&\quad+\xi\cdot\left(\dot{\varphi}^2\cdot sin\psi-\ddot{\varphi}\cdot cos\psi\right).
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Отримана система диференційних рівнянь (3) за прийнятих вище допущень описує взаємодію стеблової стрічки льону з криволінійним пальцем комбінованого підбирача. Встановлена система рівнянь дає можливість проаналізувати таку взаємодію та обґрунтувати параметри і режими роботи комбінованого підбирального апарата для різних умов роботи рулонного прес-підбирача.

Висновки. Для обґрунтування параметрів і режимів роботи комбінованого підбирального апарата рулонного прес-підбирача створена програма на ПЕОМ у системі Maple V. Програма дає можливість системно проаналізувати вплив ряду факторів на досліджуваний процес взаємодії стеблової стрічки льону з криволінійним пальцем комбінованого підбирача.

Список використаних джерел

1. Толстушко Н. О., Хайліс Г. А., Толстушко М. М. Рулонні прес-підбирачі : монографія. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2018. 164 с.

2. Шейченко В. О., Хайліс Г. А. Теорія і розрахунок апаратів для підбирання та обертання : монографія. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2014. 240 с.

3. Цикалюк Ю. О. Вдосконалення підбирачів стебел льону: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.11. Луцьк, 2001. 19 с.

4. Дідух В. Ф., Ковалишин С. Й., Дударєв І. М., Тараймович І. В. Технології вирощування, збирання та переробки льону-довгунця : навч. посіб. Львів : Львівський НАУ, 2013. 324 с.

5. Чайка О. О., Толстушко Н. О., Толстушко М. М., Сацюк В. В., Булік Ю. В. Аналіз конструкцій та роботи підбиральних апаратів машин для збирання льону. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник наук. праць. 2021. Вип. 71. С. 348 – 352.

6. Чайка О. О., Толстушко Н. О., Толстушко М. М. Аналіз процесу підбирання стеблової стрічки льону на льоновищі. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник наук. праць. 2022. Вип. 73. С. 275 – 278.

7. Хайліс Г. А., Волошин В. І., Толстушко М. М. Аналіз взаємодії пальців розпушувача зі стеблами стрічки льону. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2007. Вип. 115. С. 214 – 220.

8. Хайліс Г. А., Волошин В. І., Толстушко М. М. Аналіз роботи розпушувача стеблової стрічки льону. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. 2006. Вип. 14. С. 202 – 209.

9. Павловський М. А. Теоретична механіка : підручник. Київ : Техніка, 2004. 512 с.

Рецензент Дідух Володимир Федорович, доктор технічних наук, професор кафедри аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету, Заслужений діяч науки і техніки України.

© О.О. Чайка