

УДК 631.358:633.521

А.В. Хомич, інж., І.М. Дударєв, канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет

Дослідження роботи льономолотарки

У статті запропоновано конструкцію льономолотарки для обмолочування стрічки льону (льону олійного та льону-довгунця). Наведені результати теоретичних досліджень з обґрунтування конструктивних параметрів льономолотарки та досліджено процес вивантаження насіннєвого вороху льону з накопичувальних комірок молотильного барабана.

льономолотарка, молотильний барабан, конструктивні параметри, накопичувальні комірки, процес вивантаження, насіннєвий ворох, льон олійний, льон-довгунець

Постановка проблеми. Для подальшого розвитку галузі льонарства та забезпечення переробної промисловості дешевою та високоякісною сировиною, необхідно обґрунтовувати та впроваджувати у виробництво гнучкі прогресивні технології збирання і переробки льону, а також розробляти високопродуктивні технічні засоби для їх реалізації. Тому розробка пристроїв для обмолочування стрічки льону (льону олійного та льону-довгунця), які можна було б встановлювати як на льонозбиральному агрегаті, так і у лінії первинної переробки льонотрести, в залежності від технології збирання та первинної переробки льону, є актуальним завданням.

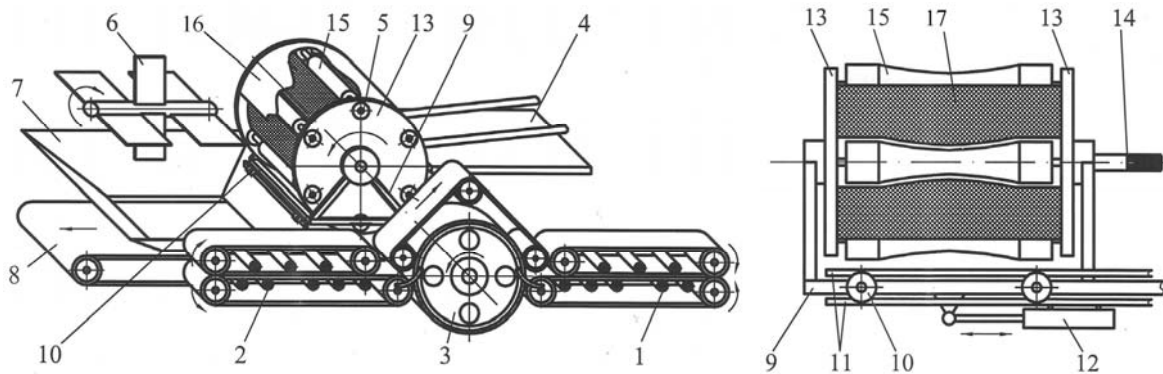
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед основних напрямків досліджень науковців, що займаються розробкою льонозбиральної техніки, є розробка пристроїв для обмолочування стрічки льону, які б забезпечували мінімальні енерговитрати та збереження насіння без пошкодження та втрат [1-4]. Розробка нових пристроїв для обмолочування стрічки передбачає обґрунтування їх конструктивних параметрів, що вимагає проведення додаткових теоретичних досліджень.

Мета дослідження. Дослідити процес вивантаження насіннєвого вороху льону з накопичувальних комірок молотильного барабана та обґрунтувати конструктивні параметри льономолотарки.

Результати дослідження. Для обмолочування стрічок льону олійного та льону довгунця пропонується використовувати льономолотарку, що представлена на рис. 1. Льономолотарка містить затискні транспортери, дисковий затискний транспортер, підвідний стіл, молотильний барабан, струшувач, накопичувач та вивантажувальний транспортер. Молотильний барабан та струшувач розташовані на рухомій рамі з роликками, що виконана з можливістю переміщення спрямовувачами за допомогою гідроциліндра у напрямку, який перпендикулярний напрямку руху стрічки льону затискними транспортерами. Між вальцями молотильного барабана передбачено вставки з накопичувальними комірками. Над молотильним барабаном встановлена опорна поверхня, що прогумована з внутрішньої сторони.

Для накопичення насіннєвого вороху під час обмолочування льону на вставках молотильного барабана передбачені комірки. Розміщення вороху в комірках зменшуватиме попадання частинок вороху в зазор між вальцями та вставками барабана під час переміщення вальців другою половиною робочої зони. Наявність комірок також зменшить пошкодження насіння, що можливе внаслідок багаторазової дії вальців на нього. Розглянемо процес вивантаження насіннєвого вороху льону з комірок молотильного барабана (рис. 2). Розвантаження комірки відбувається, коли частинка насіннєвого вороху, що знаходилася на початку вивантаження у точці S_1 комірки,

переміститься у точку S_2 . Частинку насіннєвого вороху розглядатимемо як матеріальну точку, що здійснює відносний рух вздовж ділянки S_1S_2 комірки. Уздовж ділянки S_1S_2 комірки спрямуємо руху вісь n , перпендикулярно до ділянки у напрямку обертання молотильного барабана – вісь τ . На частинку насіннєвого вороху діє сила ваги mg , сила тертя F_{mp} та нормальна реакція поверхні комірки N . Оскільки переносним є обертальний рух барабана навколо горизонтальної осі, що проходить через точку O , з постійною кутовою швидкістю ω , то на частинку також діятимуть відцентрова сила інерції F_{in} та коріолісова сила інерції F_k . При дослідженні знехтуємо опором повітря.



1, 2 – затискні транспортери; 3 – дисковий затискний транспортер; 4 – підвідний стіл; 5 – молотильний барабан; 6 – струшувач; 7 – накопичувач; 8 – вивантажувальний транспортер; 9 – рухома рама; 10 – ролики; 11 – спрямовувачі; 12 – гідроциліндр; 13 – диски; 14 – приводний вал; 15 – вальці; 16 – опорна поверхня; 17 – вставки

Рисунок 1 – Льономолотарка

Спроекуємо сили, що діють на частинку вороху, на осі n та τ :

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2 n}{dt^2} &= F_{in} - F_{mp} - mg \sin(\sigma_0 - \sigma); \\ m \frac{d^2 \tau}{dt^2} &= mg \cos(\sigma_0 - \sigma) - N - F_k, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де σ_0 , σ – відповідно, кут розміщення комірки барабана відносно його осі, при якому розпочинається вивантаження вороху з комірки, та кут повороту барабана, що відраховується з положення, коли розпочинається вивантаження вороху з комірки.

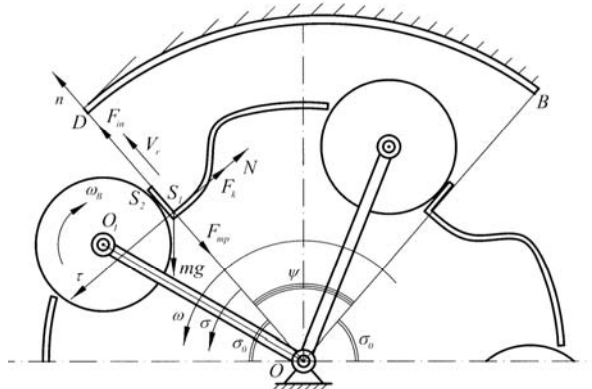


Рисунок 2 – Розрахункова схема до дослідження процесу вивантаження насіннєвого вороху льону з комірок молотильного барабана

Сила інерції переносного руху та коріолісова сила інерції:

$$F_{in} = m(R_k + n)\omega^2 = mR_k\omega^2 + mn\omega^2, \quad (2)$$

$$F_k = 2m\omega V_r \sin(\bar{\omega}, \hat{\bar{V}}_r) = 2m\omega \frac{dn}{dt}, \quad (3)$$

де V_r – відносна швидкість частинки насіннєвого вороху вздовж осі n .

Сила тертя частинки насіннєвого вороху поверхнею комірки барабана:

$$F_{mp} = fN, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Оскільки частинка вороху рухається вздовж ділянки S_1S_2 комірки, то $\frac{d^2\tau}{dt^2} = 0$.

З другого рівняння системи (1) визначимо нормальну реакції поверхні комірки:

$$N = mg \cos(\sigma_0 - \sigma) - 2m\omega \frac{dn}{dt}. \quad (5)$$

Кут повороту барабана можна записати так:

$$\sigma = \omega t. \quad (6)$$

Підставляючи в перше рівняння системи (1) значення сил тертя F_{mp} та інерції F_{in} , а також зробивши заміну $\sigma = \omega t$, після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d^2n}{dt^2} = & g(\cos \sigma_0 - f \sin \sigma_0) \sin(\omega t) - g(\sin \sigma_0 + f \cos \sigma_0) \cos(\omega t) + \\ & + 2f\omega \frac{dn}{dt} + \omega^2 n + R_k \omega^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Далі позначимо:

$$A = -g(\sin \sigma_0 + f \cos \sigma_0), \quad B = g(\cos \sigma_0 - f \sin \sigma_0), \quad D = R_k \omega^2. \quad (8)$$

Тоді рівняння (7) матиме вигляд:

$$\frac{d^2n}{dt^2} - 2f\omega \frac{dn}{dt} - \omega^2 n = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) + D. \quad (9)$$

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (9) шукатимемо у вигляді:

$$n = n1 + n2. \quad (10)$$

Знайдемо загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$\frac{d^2n}{dt^2} - 2f\omega \frac{dn}{dt} - \omega^2 n = 0. \quad (11)$$

Складемо характеристичне рівняння для рівняння (11):

$$k^2 - 2f\omega k - \omega^2 = 0. \quad (12)$$

Корені характеристичного рівняння (12) k_1 та k_2 :

$$k_{1,2} = \omega(f \pm \sqrt{1 + f^2}). \quad (13)$$

Розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$n1 = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t}. \quad (14)$$

Частковий розв'язок неоднорідного рівняння шукатимемо у вигляді:

$$n2 = n21 + n22. \quad (15)$$

Частковий розв'язок $n21$:

$$n21 = N \cos(\omega t) + M \sin(\omega t). \quad (16)$$

Двічі диференціюючи (16) та підставивши отримані значення у рівняння (9), визначимо значення сталих N та M :

$$N = \frac{Bf - A}{2\omega^2(1 + f^2)}, \quad M = -\frac{Af + B}{2\omega^2(1 + f^2)}. \quad (17)$$

Підставляючи N та M у рівняння (16), отримаємо:

$$n_{21} = \frac{Bf - A}{2\omega^2(1 + f^2)} \cos(\omega t) - \frac{Af + B}{2\omega^2(1 + f^2)} \sin(\omega t). \quad (18)$$

Частковий розв'язок n_{22} :

$$n_{22} = L. \quad (19)$$

Двічі диференціюючи (19) та підставляючи отримані значення у (9), матимемо:

$$L = -D / \omega^2. \quad (20)$$

Коли підставимо вирази (18) та (19) у вираз (15), частковий розв'язок неоднорідного рівняння матиме такий вигляд:

$$n_2 = \frac{Bf - A}{2\omega^2(1 + f^2)} \cos(\omega t) - \frac{Af + B}{2\omega^2(1 + f^2)} \sin(\omega t) - \frac{D}{\omega^2}. \quad (21)$$

Загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (9):

$$n = c_1 e^{\left(f + \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + c_2 e^{\left(f - \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + \frac{Bf - A}{2\omega^2(1 + f^2)} \cos(\omega t) - \frac{Af + B}{2\omega^2(1 + f^2)} \sin(\omega t) - \frac{D}{\omega^2}. \quad (22)$$

Для визначення сталих c_1 та c_2 продиференціюємо рівняння (22):

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} = & c_1 (f + \sqrt{1 + f^2}) \omega e^{\left(f + \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + c_2 (f - \sqrt{1 + f^2}) \omega e^{\left(f - \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} - \\ & - \frac{Bf - A}{2\omega(1 + f^2)} \sin(\omega t) - \frac{Af + B}{2\omega(1 + f^2)} \cos(\omega t). \end{aligned} \quad (23)$$

Враховуючи початкові умови $t = 0$, $n = \frac{dn}{dt} = 0$, із рівнянь (22) та (23)

з врахуванням заміни (8) знайдемо сталі c_1 та c_2 :

$$c_1 = \frac{1}{\omega^2} \left[\left(R_k \omega^2 - \frac{g(2f \cos \sigma_0 + (1 - f^2) \sin \sigma_0)}{2(1 + f^2)} \right) \left(1 - \frac{f + \sqrt{1 + f^2}}{2\sqrt{1 + f^2}} \right) + \frac{g((1 - f^2) \cos \sigma_0 - 2f \sin \sigma_0)}{4(1 + f^2)\sqrt{1 + f^2}} \right], \quad (24)$$

$$c_2 = \frac{1}{2\omega^2 \sqrt{1 + f^2}} \left[\left(R_k \omega^2 - \frac{g(2f \cos \sigma_0 + (1 - f^2) \sin \sigma_0)}{2(1 + f^2)} \right) \left(f + \sqrt{1 + f^2} \right) - \frac{g((1 - f^2) \cos \sigma_0 - 2f \sin \sigma_0)}{2(1 + f^2)} \right]. \quad (25)$$

Тоді загальний розв'язок рівняння (22) матиме такий вигляд:

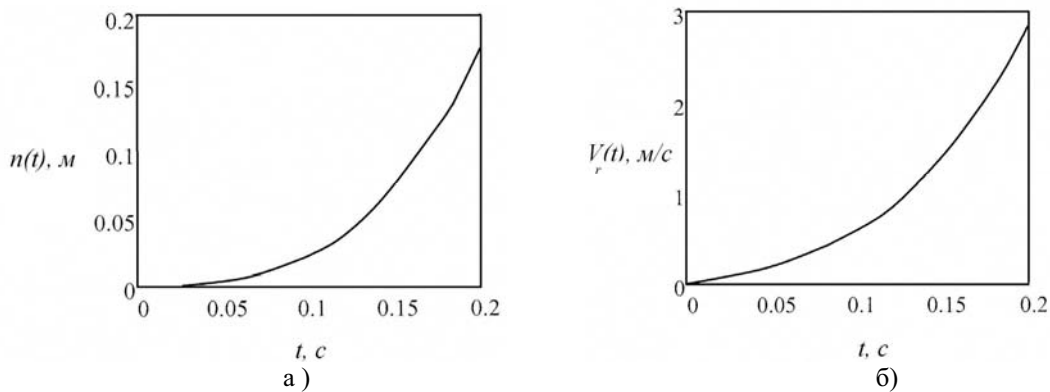
$$\begin{aligned} n = & c_1 e^{\left(f + \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + c_2 e^{\left(f - \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + \\ & + \frac{g}{2\omega^2(1 + f^2)} \left[\left(2f \cos \sigma_0 + (1 - f^2) \sin \sigma_0 \right) \cos(\omega t) - \right. \\ & \left. - \left((1 - f^2) \cos \sigma_0 - 2f \sin \sigma_0 \right) \sin(\omega t) \right] - R_k. \end{aligned} \quad (26)$$

Відносна швидкість частинки вороху вздовж ділянки $S_1 S_2$ комірки барабана:

$$\begin{aligned} V_r = \frac{dn}{dt} = & c_1 (f + \sqrt{1 + f^2}) \omega e^{\left(f + \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} + c_2 (f - \sqrt{1 + f^2}) \omega e^{\left(f - \sqrt{1 + f^2}\right)\omega t} - \\ & - \frac{g}{2\omega(1 + f^2)} \left[\left(2f \cos \sigma_0 + (1 - f^2) \sin \sigma_0 \right) \sin(\omega t) + \right. \\ & \left. + \left((1 - f^2) \cos \sigma_0 - 2f \sin \sigma_0 \right) \cos(\omega t) \right]. \end{aligned} \quad (27)$$

Задаючи значення шляху n , який проходить частинка вороху, що в даному випадку є довжиною ділянки $S_1 S_2$ комірки барабана, можна визначити час

вивантаження вороху з комірки. Після цього з виразу (6) можна знайти кут повороту σ барабана, за який комірка розвантажиться. Оскільки аналітичний розв'язок рівняння (26) відносно t є ускладненим, доцільно побудувати графічну залежність $n(t)$ (рис. 3), з якої за відомим значенням $n = S_1 S_2$ можна визначити час розвантаження комірки.



а) – залежність шляху n , що проходить частинка вороху, від часу t ; б) – залежність відносної швидкості V_r частинки вороху від часу t (при $\omega = 5 \text{ c}^{-1}$; $f = 0,7$; $\sigma_0 = 15$ град.; $R_k = 0,45 \text{ м}$)

Рисунок 3 – Графічні залежності $n(t)$ та $V_r(t)$

Об'єм накопичувальної комірки вставки молотильного барабана має забезпечувати вміщення усього об'єму насінневого вороху льону, що опиняється на вставці під час проходження робочої зони барабана. Під час визначення необхідного об'єму накопичувальної комірки припустимо, що об'єм насінневого вороху льону, який отримують з 1 погон. м стрічки льону та його маса є постійними. Також припустимо, що радіус кола, яким рухається верхівкова частина стрічки через робочу зону барабана, рівний зовнішньому радіусу вставки барабана r . Визначимо кут дуги, довжина якої рівна довжині 1 погон. м стрічки:

$$\varphi_m = l_{n1} / r, \quad (28)$$

де l_{n1} – довжина стрічки льону (1 погон. м);

r – радіус кола, яким рухається верхівкова частина стрічки через робочу зону молотильного барабана.

Встановимо час, за який 1 погон. м стрічки пройде робочу зону барабана:

$$t_{cm} = (\psi + \varphi_m) / \omega_m, \quad (29)$$

де ψ – кут обхвату барабана опорною поверхнею;

ω_m – кутова швидкість обертання дискового затискного транспортера.

Визначимо кут, на який повертається молотильний барабан за час t_{cm} :

$$\varphi_n = \omega t_{cm} = \omega(\psi + \varphi_m) / \omega_m, \quad (30)$$

де ω – кутова швидкість обертання молотильного барабана.

Кількість вставок барабана, на які за час t_{cm} надходить насінневий волох з 1 погон. м стрічки льону:

$$z = \varphi_n p / 2\pi = \omega p(\psi + \varphi_m) / (2\pi\omega_m), \quad (31)$$

де p – кількість вальців молотильного барабана.

Припустимо, що під час обмолоту стрічки льону насінневий ворох рівномірно розподіляється на вставках в межах робочої зони барабана. Тоді об'єм насінневого вороху, що в середньому припадає на одну вставку, складає:

$$V_n = V_{n1} / z, \quad (32)$$

де V_{n1} – об'єм насінневого вороху, що виділяється з 1 погон. м стрічки.

Об'єм насінневого вороху, що виділяється з 1 погон. м стрічки льону:

$$V_{n1} = Q_{n1} / \rho_{n1}, \quad (33)$$

де Q_{n1} – вихід насіннєвого вороху з 1 погон. м стрічки льону, кг;

ρ_{n1} – об'ємна маса насіннєвого вороху, кг/м³.

Об'єм накопичувальної комірки V_k вставки має бути не меншим за об'єм вороху, що виділяється з 1 погон. м стрічки льону. Таким чином, для перебігу процесу обмолоту стрічки без пошкодження насіння, необхідно, щоб виконувалася умова:

$$V_k \geq V_n = \frac{2\pi\omega_m Q_{n1}}{\omega r \rho_{n1} \left(\psi + \frac{1}{r} \right)}. \quad (34)$$

Висновки. Отримані в результаті теоретичних досліджень залежності дозволяють обґрунтувати раціональні конструктивні параметри молотильного барабана льономолотарки, а також дослідити процес вивантаження насіннєвого вороху льону з комірок молотильного барабана.

Список літератури

1. Круглень В.Е. Обоснование параметров бильного аппарата для усовершенствования процесса обмолота ленты льна / В.Е. Круглень, М.В. Левкин // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых – Минск, 2010. – С. 131-134.
2. Dudarev I. Reasoning of technology and design parameters of oil flax harvesting machines / I. Dudarev, R. Kirchuk. INMATEH – Agricultural engineering (January – April). Vol. 33, No. 1/2011, Bucharest 2011, p. 37-42.
3. Дударев І.М. Обґрунтування конструктивних параметрів пристрою для обмолочування стрічки льону / І.М. Дударев, А.В. Хомич // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 21. – Том I. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ, 2011. – С. 123-130.
4. Селезньов Д.Е. Аналіз конструкцій очісувальних апаратів / Д.Е. Селезньов // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 20. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ, 2010. – С. 298-305.

А. Хомич, І. Дударев

Исследование работы льномолотилки

В статье предложена конструкция льномолотилки для обмолота лент льна (льна масличного и льна-долгунца). Представлены результаты теоретических исследований по обоснованию конструктивных параметров льномолотилки и исследовано процесс выгрузки семенного вороха льна с накопительных ячеек молотильного барабана.

A. Khomych, I. Dudarev

Investigation of work of flax thresher

A construction of thresher of flax band (oil flax and fibre flax) is offered in article. Results of theoretical researches of rational structural parameters of flax thresher are presented. Also results of investigation of unloading process of flax heap from thresh drum are presented.

Одержано 11.09.11