

**І.В. ТАРАЙМОВИЧ**, аспірант,  
**В.Ф. ДІДУХ**, д-р техн. наук, професор, **І.М. ДУДАРЕВ**, канд. техн. наук  
 (Луцький національний технічний університет)

## Дослідження процесу переміщення вороху льону в робочій камері сепаратора

*The article sums up the necessity of technical facilities improvement for primary processing of flax-heap. As the result we receive the analytical dependences, that give the permission to reveal the peculiarities of flax-heap traveling in working chamber of separator.*

**Постановка проблеми.** Льон-довгунець – це одна з сільськогосподарських культур, що використовуються безвідходно. З стеблової частини отримують льоноволокно, яке сьогодні в Україні є єдиним джерелом натуральної сировини для текстильної промисловості. З вороху льону, що отримують внаслідок обтісування рослини льонувовгунця, виділяють насіння, яке широко застосовують в багатьох підгалузях харчової та переробної промисловості. Плутанину, що є баластною складовою вороху льону, використовують як паливний матеріал (у вигляді брикетів). Залишки насіннєвого вороху льону застосовують у тваринництві як поживний корм.

Основним завданням переробки вороху льону є виділення з нього завдяки сепарації агрономічно зрілого насіння та доведення його до кондиційної вологості. Переробка вороху льону в господарствах характеризується низьким рівнем механізації та значною енергоємністю процесів, що в багатьох випадках призводить до відмови від існуючих засобів сепарації та сушіння і застосування ручної праці та природного сушіння. Це, в свою чергу, зумовлює залежність ефективності переробки від погодних умов, спричиняє погіршення якісних показників врожаю та його втрату. Тому розробка високоєфективних та енергоощадних засобів сепарації вороху льону, а також дослідження їх роботи є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомі дослідження з сепарації вороху льону викладено в наукових працях Ю.І.Боярчука [1], В.Б.Мелегова [2], Г.А.Хайліса [3], В.Ф.Дідуха [4], Д.Ю.Лачуги [5], Р.В.Кірчука [6]. У них подано результати, що отримані під час дослідження роботи сепараторів, в яких сепарація відбувається розтягуванням шару вороху льону або наданням йому коливань. Особливість роботи сепаратора, що пропонується, полягає у поєднанні процесу розтягування шару вороху льону з наданням йому коливань. Це зумовлює необхідність додаткових досліджень у цьому напрямку.

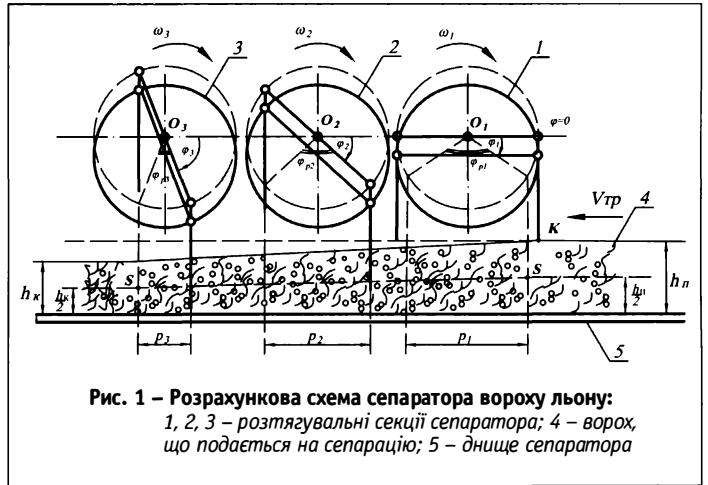
**Мета дослідження.** У результаті дослідження передбачається отримати аналітичні залежності, що дають змогу описати переміщення вороху льону в робочій камері запропонованого сепаратора.

**Результати досліджень.** Розглянемо роботу сепаратора [7] для дослідження переміщення ним вороху льону. Сепаратор складається з трьох розтягувальних секцій, що розміщені над днищем, яке здійснює коливний рух у вертикальній площині. Прийемо такі допущення:

- \* Амплітуда коливань днища сепаратора є незначною, тому переміщенням шару матеріалу в вертикальній площині можна знехтувати
- \* Ворох, що подається на сепарацію, має однакові властивості та вміст складових
- \* В процесі розтягування шару пальцями не відбувається його розриву
- \* Зміна висоти шару вороху вздовж сепаратора має лінійний характер

Прийемо також, що усі розтягувальні секції конструктивно є однаковими та розміщені на одній горизонтальній осі вздовж днища; кутова швидкість кожної наступної секції більша за попередню  $\omega_3 > \omega_2 > \omega_1$  (див. рис.1).

Якщо на сепарацію подається шар вороху висотою  $h_n$ , внаслідок його розтягування в кінці сепаратора отримаємо шар матеріалу висотою  $h_k$ . Проведемо відрізок  $S-S$ , що з'єднує точки, які лежать на висоті  $h_n/2$  початкового шару та  $h_k/2$  кінцевого шару (у площині рисунка).



**Рис. 1 – Розрахункова схема сепаратора вороху льону:**  
 1, 2, 3 – розтягувальні секції сепаратора; 4 – ворох, що подається на сепарацію; 5 – днище сепаратора

Допустимо, що переміщення шару вороху робочими органами розпочинається, коли пальці занурюються у ворох до рівня відрізка  $S-S$  нижче.

Обов'язковою умовою є те, що початок занурення пальця в матеріал – точка (т.)  $K$  – має відбуватися в момент, коли  $\varphi = 0$  (якщо це відбуватиметься раніше, ворох переміщуватиметься вправо, а це – недопустимо).

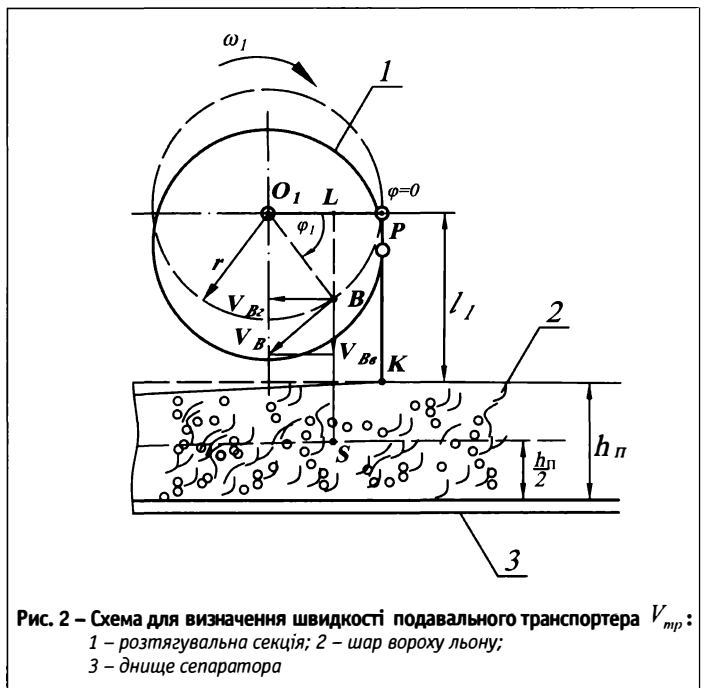
Приймаємо для всіх розтягувальних секцій, що відрахунок кута повороту  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  відбувається за годинниковою стрілкою (так, як показано на рис. 1).

Обґрунтуємо швидкість подавального транспортера  $V_{mp}$ . Оскільки, за прийнятим допущенням, переміщення шару матеріалу розпочинається, коли палець опуститься у ворох на глибину  $h_n/2$  – т.  $S$ , швидкість подавального транспортера  $V_{mp}$  має бути меншою за лінійну швидкість шару  $V_s$  у разі досягнення пальцем т.  $S$ . В іншому випадку відбуватиметься не розтягування матеріалу, а його стиск:

$$V_{mp} < V_s. \tag{1}$$

Визначимо значення кута повороту першої розтягувальної секції  $\varphi_s$ , за якого кінець пальця досягне т.  $S$  (рис. 2):

$$LB = r \cdot \sin \varphi_1 = r \cdot \sin \varphi_s \tag{2}$$



**Рис. 2 – Схема для визначення швидкості подавального транспортера  $V_{mp}$ :**  
 1 – розтягувальна секція; 2 – шар вороху льону;  
 3 – днище сепаратора

З іншого боку  $LB = h_n / 2$ , за умови, що входження кінця пальця в шар (т. К) відбувається при  $\varphi_1 = 0$ . Тоді матимемо:

$$r \cdot \sin \varphi_s = \frac{h_n}{2}, \quad (3)$$

звідки

$$\varphi_s = \arcsin\left(\frac{h_n}{2 \cdot r}\right) \text{ або } \sin \varphi_s = \frac{h_n}{2 \cdot r}. \quad (4)$$

Розкладемо лінійну швидкість місця кріплення пальця до секції (т. В) на вертикальну  $V_{Bv}$  та горизонтальну  $V_{Bh}$  складові. В сепараторі пальці здійснюють поступальний рух. Враховуючи зазначене, можна записати:  $V_s = V_{Bh}$ . Оскільки  $V_{Bv} = V_B \cdot \sin \varphi_s$ , а також  $V_B = \omega_1 \cdot r$ , тоді

$$V_{Bh} = \omega_1 \cdot r \cdot \sin \varphi_s. \quad (5)$$

Підставляючи значення в умову (1), матимемо:

$$V_{mp} < \frac{\omega_1 \cdot h_n}{2}. \quad (6)$$

Аналіз поданої на рис. 1 схеми свідчить, що внаслідок зменшення висоти шару під час розтягування, зменшується довжина робочих зон розтягувальних секцій:  $p_1 > p_2 > p_3$  (робоча зона – це зона, вздовж якої пальці розтягувальної секції діють на матеріал, переміщуючи його). Зменшення довжини робочих зон негативно впливає на сепарацію, оскільки внаслідок цього збільшуватиметься довжина розривів між ними, а це призводитиме до уповільнення швидкості вороху, його спресовування.

Для усунення цього недоліку необхідно, щоб розмір робочих зон всіх розтягувальних секцій був однаковим та максимально великим. Збільшити розмір робочої зони кожної наступної секції можна, збільшуючи довжину пальців кожної наступної розтягувальної секції, при цьому тривалість контакту пальця з ворохом зростатиме.

Нехай довжина сепаратора, на якій висота шару змінюється від початкового значення  $h_n$  до кінцевого  $h_k$  становить  $L$ . Згідно прийнятого допущення зменшення висоти шару носить лінійний характер. Визначимо значення кута нахилу лінії  $S - S$  до горизонту:

$$\beta = \arctg\left(\frac{h_n - h_k}{2 \cdot L}\right). \quad (7)$$

Визначимо значення кута  $\varphi_p = \varphi_{p1}$ , що відповідає переміщенню пальця робочою зоною першої розтягувальної секції:

$$\varphi_{p1} = \pi - 2 \cdot \gamma = \pi - 2 \cdot (\varphi_s + \beta). \quad (8)$$

Враховуючи, що розмір всіх робочих зон має бути однаковим, й підставляючи (4) та (7) в (8), запишемо:

$$\varphi_p = \varphi_{p1} = \varphi_{p2} = \varphi_{p3} = \pi - 2 \cdot \left( \arcsin\left(\frac{h_n}{2 \cdot r}\right) + \arctg\left(\frac{h_n - h_k}{2 \cdot L}\right) \right). \quad (9)$$

Враховуючи, що швидкість шару вороху льону довжиною  $dl$  в робочих зонах розтягувальних секцій дорівнює горизонтальній складовій лінійної швидкості точки кріплення пальця (т. В), тоді для кожної робочої зони можна записати:

$$\begin{cases} V_{Bc_1} = \omega_1 \cdot r \cdot \sin(\omega_1 \cdot t_1); \\ V_{Bc_2} = \omega_2 \cdot r \cdot \sin(\omega_2 \cdot t_2); \\ V_{Bc_3} = \omega_3 \cdot r \cdot \sin(\omega_3 \cdot t_3). \end{cases} \quad (10)$$

Для визначення шляху переміщення матеріалу робочою зоною вздовж осі  $Ox$  (напряму осі  $Ox$  співпадає з напрямом руху вороху вздовж горизонталі) проінтегруємо рівняння (10).

Оскільки початок координат для кожної робочої зони співпадає з початком відповідної зони, за початкових умов  $t_1 = t_2 = t_3 = 0$ ,  $x_1 = x_2 = x_3 = 0$ , маємо:

$$\begin{cases} x_1 = r \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t_1)); \\ x_2 = r \cdot (1 - \cos(\omega_2 \cdot t_2)); \\ x_3 = r \cdot (1 - \cos(\omega_3 \cdot t_3)). \end{cases} \quad (11)$$

Складаючи рівняння, що описують переміщення елементарного шару вороху довжиною  $dl$  ділянками сепаратора, врахуємо, що переміщення матеріалу у вертикальній площині описується рівняннями, отриманими для днища сепаратора в [8].

За отриманими залежностями у середовищі MathCAD побудуємо траєкторію переміщення шару вороху в робочій камері сепаратора (рис. 3).

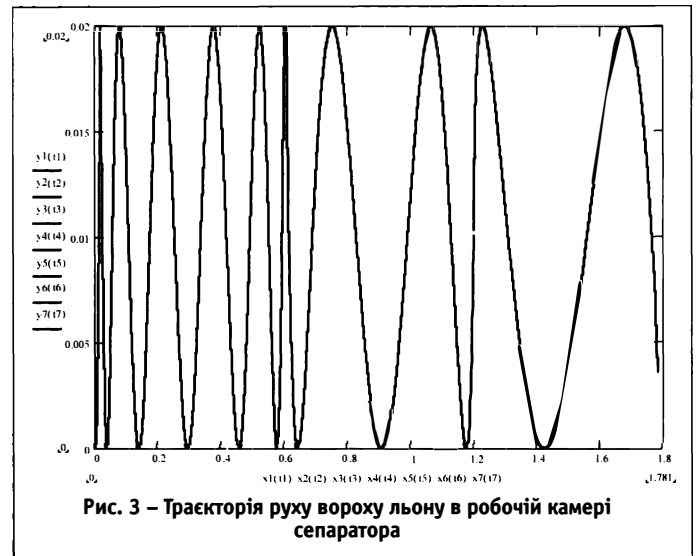


Рис. 3 – Траєкторія руху вороху льону в робочій камері сепаратора

**ВИСНОВКИ**

Швидкість переміщення вороху у всіх робочих зонах секцій зростає в діапазоні кутів  $0^\circ \leq \varphi_i \leq 90^\circ$ , а в діапазоні  $90^\circ \leq \varphi_i \leq 180^\circ$  зменшується. Сепарувальний ефект від коливного руху днища зменшуватиметься з кожною наступною секцією, оскільки лінійна швидкість вороху зростатиме, а, відповідно, кількість коливань шару матеріалу в кожній наступній робочій зоні зменшуватиметься.

У межах кожної робочої зони інтенсивність коливань шару матеріалу зменшуватиметься в діапазоні кутів  $0^\circ \leq \varphi_i \leq 90^\circ$ , а в діапазоні кутів  $90^\circ \leq \varphi_i \leq 180^\circ$  збільшуватиметься, внаслідок відповідної зміни швидкості переміщення вороху.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Боярчук Ю.И. Повышение эффективности послеуборочной обработки льновороха путем его сепарации перед сушкой: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / Ю.И. Боярчук. – М., 1994. – 13 с.
2. Мелегов В.Б. Исследование процесса сепарации грубого вороха, получаемого при комбайновой уборке льна-долгунца: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / В.Б. Мелегов – Минск, 1973. – 15 с.
3. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев, УААН, 1994. – 374 с.
4. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських рослинних матеріалів. Монографія. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
5. Кірчук Р.В. Розробка сепаратора вороху льону: дис...канд. техн. наук: 05.05.11 / Р.В. Кірчук – Луцьк, 2001. – 198 с.
6. Лачуга Д.Ю. Обоснование процессов и рабочих органов для разделения сырого льновороха [Технические средства аксиально-роторного и решетчато-гребенчатого типов для выделения пухлятины, коробочек и семян льна]. – Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01. – Москва, 2007. – 18 с., ил.
7. Патент на корисну модель №35570 Україна, МПК F26B9/06. Сепаратор вороху / Дударев І.М., Тараймович І.В. Заявлено 25.04.2008; Опубл. 25.09.2008; Бюл. № 18.
8. Тараймович І.В. Дослідження процесу сепарації вороху насіння льону на коливному решеті / І.В. Тараймович, В.Ф. Дідух, І.М. Дударев // Вісник Харківського техн. університету сільського господарства ім. П. Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва» – Харків, 2008. – Т. 1. № 75. – С.134 – 142.

Одержано 11.11.2008