

УДК 631.358:633.521

© І.М.Дударєв, к.т.н., С.М.Крук, Р.В.Кірчук, к.т.н., В.В.Тарасюк, к.т.н.
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВИСАННЯ ШАРУ ЛЛЯНОГО ВОРОХУ НА ДНИЩІ СЕПАРАТОРА

У статті представлено результати моделювання провисання шару лляного вороху на днищі сепаратора. Теоретичним шляхом одержані залежності для обґрунтування конструктивних параметрів сепаратора.

ЛЛЯНИЙ ВОРОХ, ШАР, ВЕЛИЧИНА ПРОВИСАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, СЕПАРАТОР.

Постановка проблеми. Сепарування лляного вороху є одним з найбільш складних процесів у технології його переробки. Відомі конструкції сепараторів зумовлюють значні втрати стеблових складових лляного вороху, які можуть бути використані як додаткова сировинна база у виробництві однотипного волокна та паливних брикетів. Тому дослідження спрямоване на розробку конструкцій сепараторів лляного вороху, що зменшують втрати стеблових складових, а також обґрунтування їх параметрів є надзвичайно актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням сепарування лляного вороху займалися такі науковці як С.А. Бортнік, Ю.И. Боярчук, В.Ф. Дідух, А.Ф. Єругін, В.І. Зеленко, С.А. Катченков, Р.В. Кірчук, М.М. Ковальов, В.Е. Круглень, А.Н. Кудрявцев, Д.Ю. Лачуга, В.Б. Мелегов, А.В. Сотченков, І.В. Тараймович, В.А. Шаршунов та інші. Значна увага у дослідженнях приділялася питанням обґрунтування раціонального способу сепарування лляного вороху, який дозволяв би мінімізувати втрати та пошкодження усіх складових вороху. Одним з таких способів є сепарування шляхом розтягування шару вороху. Для реалізації цього способу запропоновано конструкцію коливально-розтягувального сепаратора [1 – 3], що потребує обґрунтування конструктивних параметрів.

Мета дослідження – дослідити провисання шару лляного вороху на днищі сепаратора та обґрунтувати конструктивні параметри днища.

Результати дослідження. Визначимо величину провисання шару лляного вороху в статичному положенні між напрямними днища сепаратора. Лляний ворох містить обривки стебел та суплідь, які утворюють важкороздільну зв'язану волокнисту гнучку плутанину.

Якщо виділити у поперечному напрямку до напрямку переміщення лляного вороху днищем між двома напрямними елементарний шар вороху шириною dl_u (рис. 1, а), висотою h_u та довжиною L_u (де L_u – початкова довжина шару вороху до його розміщення на напрямних, м), в якому складові вороху рівномірно розподілені за об'ємом, тобто щільність ρ_u [кг/м³] шару вороху однакова у всьому об'ємі, тоді розглядуваний елементарний шар лляного вороху можна замінити моделлю, що має властивості гнучкої нитки, вага якої рівномірно розподілена за її довжиною $q_u = \rho_u F_u g$ (де q_u – вага одиниці довжини елементарного шару вороху, Н/м; F_u – площа поперечного перерізу елементарного шару вороху ($F_u = h_u \cdot dl_u$), м²). Така модель шару вороху дозволяє застосувати для визначення величини його провисання між напрямними теорію гнучких ниток, відповідно до якої приймемо наступні припущення: провисання елементарного шару вороху мале порівняно з відстанню l_{on} між вершинами *A* та *B* (проліт) напрямних днища (опорами для шару вороху) в площині рис.1, б; вершини напрямних днища розміщені на одному рівні; шар лляного вороху за довжиною L_u має однакову площу поперечного перерізу F_u ; оскільки провисання шару мале, тоді з достатньою для практики точністю можна вважати, що вага шару рівномірно розподілена не за його довжиною, а вздовж прольоту l_{on} .

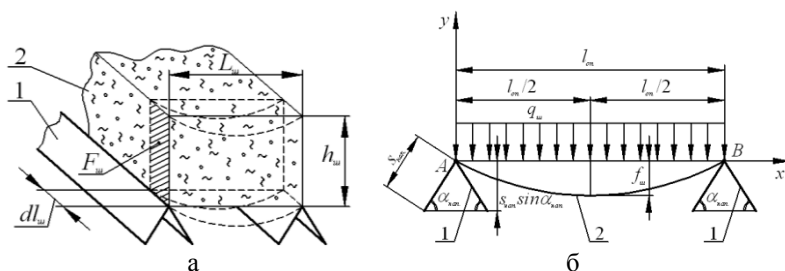


Рис. 1 – Розрахункові схеми: а – схема до визначення площі елементарного шару лляного вороху (1 – напрямна днища; 2 – лляний ворох); б – схема моделі шару лляного вороху, що має властивості гнучкої нитки (1 – напрямна днища; 2 – модель шару лляного вороху (гнучка нитка))

Обравши систему координат xAy , як показано на рис. 1, б, тоді рівняння кривої, яку займе шар вороху в положенні рівноваги, матиме вигляд [4]:

$$y = \frac{q_u x}{2H} (l_{on.} - x), \quad (1)$$

де H – горизонтальна сила натягу шару лляного вороху, Н.

Знайдемо похідну від виразу (1) по x :

$$y' = \frac{q_u}{2H} (l_{on.} - 2x). \quad (2)$$

Прирівняємо вираз (2) до нуля та розв'яжемо його відносно x , отримаємо значення відстані вздовж осі x , де провисання шару буде найбільшим. У даному випадку найбільше провисання шару вороху буде по середині прольоту, тобто при $x = l_{on.}/2$. Підставляючи значення $x = l_{on.}/2$ в рівняння (1), отримаємо залежність для визначення величини найбільшого провисання шару вороху:

$$y_{\max} = f_u = \frac{q_u l_{on.}^2}{8H}. \quad (3)$$

З виразу (3) визначимо горизонтальну силу натягу шару вороху:

$$H = \frac{q_u l_{on.}^2}{8f_u}. \quad (4)$$

Як відомо, довжина кривої, а, відповідно, елементарного шару вороху може бути визначена за формулою [4, 5]:

$$S_u = \int_0^{l_{on.}} \sqrt{1 + y'^2} dx. \quad (5)$$

Підставляючи в похідну (2) вираз (4), після перетворень отримаємо:

$$y' = \frac{4f_u}{l_{on.}} \left(1 - 2 \frac{x}{l_{on.}} \right). \quad (6)$$

Підставивши вираз (6) у формулу (5) та розклавши підінтегральну функцію в ряд і інтегруючи, отримаємо [4]:

$$S_u = l_{on.} \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_u}{l_{on.}} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f_u}{l_{on.}} \right)^4 + \frac{256}{7} \left(\frac{f_u}{l_{on.}} \right)^6 - \dots \right]. \quad (7)$$

Оскільки провисання шару вороху незначне (крива полого), тоді можна обмежитися першими двома членами розкладання:

$$S_{\text{ш}} = l_{\text{он.}} \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_{\text{ш}}}{l_{\text{он.}}} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Подовження $\Delta S_{\text{ш}}$ елементарного шару вороху початковою довжиною $L_{\text{ш}}$ після його розміщення між напрямними днища, можна визначити за наступною формулою [6]:

$$\Delta S_{\text{ш}} = S_{\text{ш}} - L_{\text{ш}}. \quad (9)$$

Визначимо зміну довжини елементарного шару вороху від зусилля розтягу. Оскільки провисання шару мале, тоді можна прийняти, що зусилля розтягу дорівнює натягу H . У цьому випадку пружне подовження шару від розтягання складе [6]:

$$\Delta S_{\text{ш}} = \frac{H l_{\text{он.}}}{E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}, \quad (10)$$

де $E_{\text{ш}}$ – модуль пружності лляного вороху, Па.

Підставляючи вирази (8) та (10) у формулу (9) з врахуванням (4), після перетворень отримаємо:

$$f_{\text{ш}}^3 + \frac{3l_{\text{он.}}(l_{\text{он.}} - L_{\text{ш}})}{8} f_{\text{ш}} - \frac{3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{64 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}} = 0. \quad (11)$$

Рівняння (11) є “неповним” кубічним рівнянням, дійсний корінь якого можна знайти за формулами Кардано [7]:

$$f_{\text{ш}} = A + B, \quad (12)$$

де $A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}$; $B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}$; $Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2$;

$p = \frac{3l_{\text{он.}}(l_{\text{он.}} - L_{\text{ш}})}{8}$; $q = -\frac{3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{64 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}$ – відповідно коефіцієнт при $f_{\text{ш}}$ та

вільний член у “неповному” кубічному рівнянні (11).

Підставляючи у вираз (12) відповідні значення, після перетворень отримаємо залежність для визначення величини провисання шару лляного вороху між напрямними днища сепаратора:

$$\begin{aligned} f_{\text{ш}} = & \sqrt[3]{\frac{3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{128 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}} + \sqrt{\left(\frac{3l_{\text{он.}}(l_{\text{он.}} - L_{\text{ш}})}{24}\right)^3 + \left(\frac{-3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{128 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}\right)^2} + \\ & + \sqrt[3]{\frac{3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{128 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}} - \sqrt{\left(\frac{3l_{\text{он.}}(l_{\text{он.}} - L_{\text{ш}})}{24}\right)^3 + \left(\frac{-3q_{\text{ш}} l_{\text{он.}}^4}{128 E_{\text{ш}} F_{\text{ш}}}\right)^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

На рис. 2 представлено поверхню відгуку величини провисання шару лляного вороху $f_{ш}$ та її двомірні січення в залежності від щільності лляного вороху $\rho_{ш}$ та відстані $l_{оп.}$ між напрямними днища.

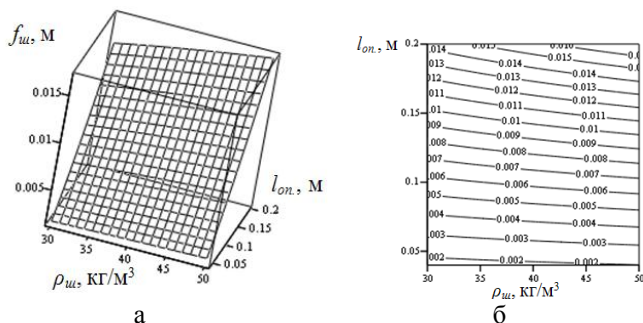


Рис. 2 – Поверхня відгуку величини провисання шару лляного вороху $f_{ш}(\rho_{ш}, l_{оп.})$ (а) та її двомірні січення (б) при $F_{ш} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $E_{ш} = 7,5 \text{ кПа}$; $l_{оп.} = L_{ш}$, тобто в початковий момент провисання шару лляного вороху відсутнє

Для запобігання можливості провисання шару лляного вороху нижче напрямних днища, що ускладнить сепарацію (проходження відокремлених складових вороху через днище) та уможливить обрив і проходження плутанини на похиле решето сепаратора, необхідно, щоб конструктивно виконувалася умова (рис. 2, б):

$$s_{нап.} > \frac{f_{ш}}{\sin \alpha_{нап.}}. \quad (14)$$

Висновок. За результатами моделювання провисання шару лляного вороху на днищі сепаратора одержано залежності, що дозволяють встановити величину провисання шару вороху та відстань між напрямними днища сепаратора, за якої не буде втрат стеблових складових вороху з відокремленим насіннєвим ворохом льону.

Література

1. Пат. №35570 Україна, МПК F26B9/06, A01D45/26. Сепаратор вороху / І.М. Дударєв, І.В. Тараймович. Заяв. 24.04.2008; опубл. 25.09.2008; Бюл. № 18.

2. Пат. №92924 Україна, МПК F26 B9/06, A01 D45/26, A01 F11/00. Сепаратор вороху / І.М. Дударев; Заяв. 12.06.2008; опубл. 27.12.2010; Бюл. №24.

3. Пат. №100750 Україна, МПК F26B9/06, A01D45/06, A01F11/02. Сепаратор лляного вороху / І.М. Дударев; Заяв. 16.02.2015; опубл. 10.08.2015; Бюл. № 15.

4. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: учебное пособие: Т. III (специальные главы механики) / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон; под редакцией Г.Ю. Джанелидзе и Д.Р. Меркина. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”, 1973. – 488 с.

5. Бондаренко А.А. Теоретична механіка: підручник: У 2 ч. / А.А. Бондаренко, О.О. Дубінін, О.М. Переяславцев. – Ч. 1: Статика. Кінематика. – К.: Знання, 2004. – 599 с.

6. Писаренко Г.С. Опір матеріалів: підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; за ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і перероб. – К: Вища шк., 2004. – 655 с.

7. Цыпкин А.Г. Справочник по математике для средних учебных заведений / А.Г. Цыпкин. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 432 с.

Рецензент д.т.н., проф. В.Ф. Дідух