

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ШТАПЕЛЬОВАНОЇ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ

В роботі теоретично обґрунтована нова концепція механічної переробки луб'яних культур та отримання на їх основі штапельованих волокон з заданими кінцевими якісними характеристиками за рахунок зміни характеру механічних впливів на початкових етапах первинної обробки, встановлено механізми дій при руйнуванні зв'язків елементарних волокон та розроблено теоретичні основи створення технології комплексної переробки луб'яного стебла.

Ключові слова: короткоштапельне волокно льону та конопель.

D. KRUGLYJ, K. KLEVTSOV
Kherson National Technical University

THEORETICAL GETTING BASES OF STAPLE CELLULOSE-CONTAINING BAST RAW MATERIALS

We justify the new concept of mechanical processing of bast crops and produce on their basis filaments with desired final quality characteristics due to the changing nature of mechanical stress in the early stages of primary processing, established mechanisms of action in the destruction of relationships filaments and developed the theoretical basis for the creation of technology of complex processing of bast stem. This will get the bast fibers of the flax and hemp corresponding functionality by separating their technical systems and cleaning filaments with new mechanical effects. Based on the established mechanism of stapling, the allocation of bonfires and the breaking of technical bast beams, new methods for processing stems are proposed, based on controlled grinding and cleaning processes, which contribute to the destruction of the integrity of the stems and increase the degree of its peeling.

Keywords: filaments of flax and hemp.

Вступ

На сьогоднішній день класична технологія первинної обробки луб'яних волокон стверджує, що завдяки відмінності поставлених завдань, засоби для їх виконання повинні бути принципово різними. Порушення сил, що зв'язують кострицю з волокном, може бути здійснено за рахунок додаткових сил натягу волокон представлених на рис. 1.

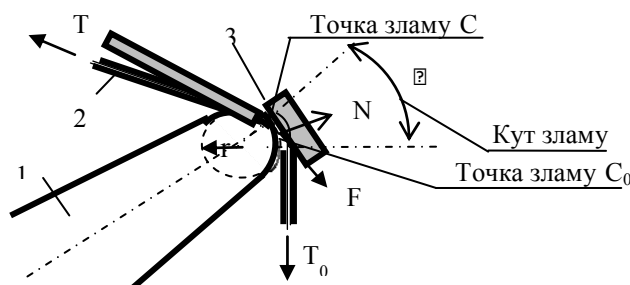


Рис. 1. Схема силової моделі взаємодії рифлю вальця з волокном та кострицею: 1 – рифель вальця; 2 – пасмо волокна; 3 – костриця

За схемою (рис. 1), на якій представлено силову модель зламу елементарної костринки (3), взаємодія знизу з крайкою рифлю вальця (1) відбувається за лінією CC_0 . Жорстка незламна костринка пов'язана з пасмом волокна (2), має на своїх кінцях натяг TT_0 . Натяг діє під кутом φ у напрямку до лінії зв'язування CC_0 , тому в точках зламу C і C_0 відбувається руйнування зв'язку волокна з кострицею за рахунок їх різного коефіцієнта розтягування.

При цьому необхідно зазначити, що порушення зв'язків волокна з кострицею в розглянутому випадку має перевагу в порівнянні з відомими способами, так як порушення зв'язку відбувається одночасно лише в одній точці C або C_0 , тоді як сили інерції (F), відцентрові сили (N) та ін. будуть відривати костринку від волокна, додатково долаючи силу зчеплення за всією лінією зв'язування CC_0 . Порушення лінії зв'язування призведе до нейтралізації додаткових сил натягу волокон [1].

Аналіз останніх досліджень

Операція зламу характерна для процесу м'яття – це є головною відмінністю від процесу тіпання, при якому злам, як правило відсутній. Звідси можна зробити висновок, що, використовуючи для аналізу процесу м'яття луб'яну сировину, що послужила сировиною для аналізу процесу тіпання, не можна буде досягти повного висвітлення процесу м'яття, так як основна операція цього процесу – злам – не може бути відображений в аналізі тіпання. В іншому обидва процеси декортикації якісно подібні один одному [2].

При процесі м'яття нерухома за відношенням до обробляючих крайок рифлю точка A пасма лежить спочатку траєкторії руху крайок, поблизу лінії OO_1 , що з'єднує центри вальців (рис. 2).

Формулювання цілей

На основі аналізу проведених теоретичних досліджень відносного руху пасма волокна в робочій зоні крайок рифлених вальців нами була проведена спроба уніфікувати процеси м'яття, тіпання і штапелювання використовуючи модернізовану м'яльну частину куделеприготувального агрегату КПАЛ.

Виклад основного матеріалу

У представленій роботі розглядаються питання зміни природи механічних дій на первинних етапах обробки луб'яної сировини. Вони пов'язані з відмовою від класичної теорії м'яття, де в основу було закладено максимальне збереження луб'яної частини стебла та часткове відокремлення костриці.

Для вирішення питань, пов'язаних з одержанням подрібненого лубу, в якості прототипу, нами було використано м'яльну частину куделеприготувального агрегату КПАЛ, яка дозволяє максимально ефективно здійснювати порушення зв'язків між луб'яною та деревинною частинами стебла.

В модернізованій м'яльній частині КПАЛ було запропоновано змінити умови диференціації м'яття останньої м'яльної пари вальців, за рахунок зубчастого зчеплення, що дало змогу змоделювати процес тіпання та штапелювання на м'яльному обладнанні, та призвело до керованого подрібнення пром'ятого сирцю за рахунок збільшення інтенсивності обробки, вводячи до процесу м'яття додаткові сили, які характеризують процес тіпання (рис. 3).

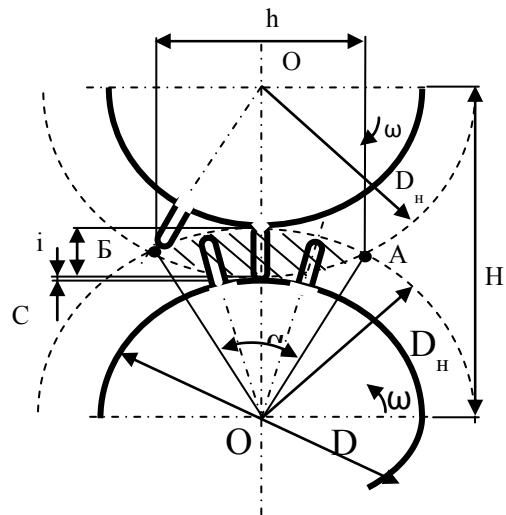


Рис. 2. Традиційна схема взаємодії крайки рифлю з пасмом волокна в процесі м'яття

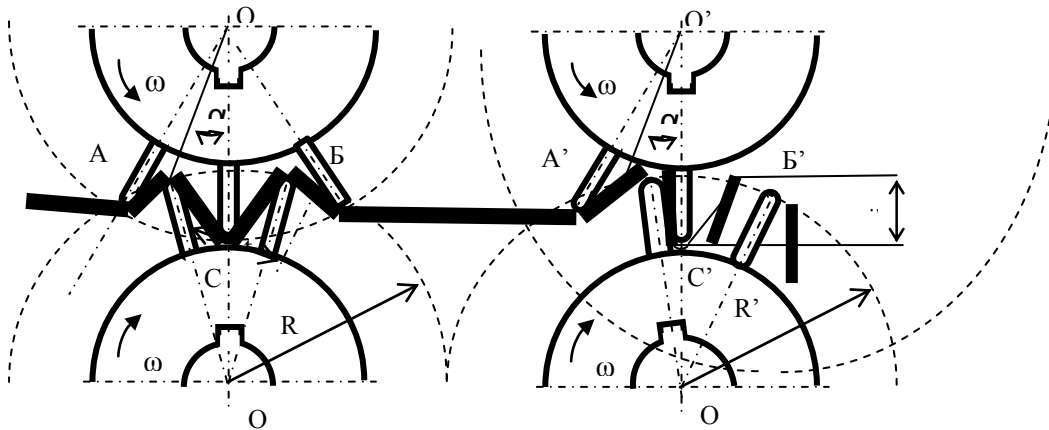


Рис. 3. Схема взаємодії рифлів м'яльних вальців з шаром пром'ятого сирцю

Для посилення процесу м'яття верхні вальці приводяться в обертання від нижніх не за допомогою шестерень, а завдяки зчепленню рифлів крізь шар оброблюваного матеріалу.

При використанні рифлених вальців, стебла проходять шлях ламаної лінії ACB (рис. 3). Режим роботи м'яльної частини агрегату встановлюють залежно від фізичних властивостей оброблюваної сировини. Подрібнення волокнистої частини стебла здійснюється за рахунок сил тертя, які утворюються між рифлями в момент їх зчеплення A'B'C'. У цьому випадку штапельна довжина отриманого волокна відповідає глибині заходження рифлів (i) рубальних вальців, які регулюються в діапазоні від 5 до 1,5 мм.

З огляду на той факт, що під час обробки пасмо може потрапляти в зону дії декількох рифлів (рис. 3), то вся ділянка охоплення їх пасмом може бути розділена на три зони вигину навколо крайок А, С і В. Таким чином, вирішивши завдання для окремої крайки (рис. 4) і підсумовуючи результати рішення для всіх крайок, ми зможемо розв'язати задачу про вплив сил тертя на натяг для всіх крайок рифлів рубальних

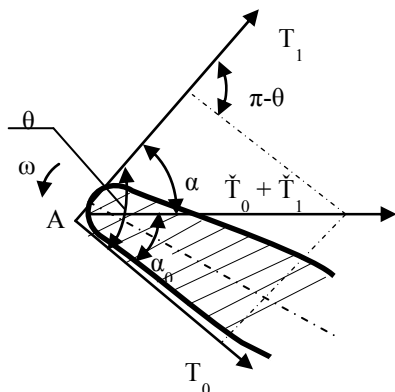


Рис. 4. Силова схема взаємодії крайки рубальних вальців з пасмом волокна в точці А

вальців.

Виходячи з рис. 3, приймаємо, що:

$$\vec{N} = \vec{T}_0 + \vec{T}_1. \quad (1)$$

Чисельна величина цього виразу буде визначатися з рівняння:

$$N = T_0 + T_1 = T_0 \cos \alpha_0 + T_1 \cos \alpha_1, \quad (2)$$

де α_0 та α_1 – кути, утворені векторами T_0 і T_1 з їх рівнодіючою N .

Отже:

$$\Delta T = \mu(T_0 \cos \alpha_0 + T_1 \cos \alpha_1), \quad (3)$$

а так як $T_1 = T_0 + \Delta T$, маємо:

$$T_1 = T_0 + \mu(T_0 \cos \alpha_0 + T_1 \cos \alpha_1), \quad (4)$$

У рівняння (4) входить три невідомих: T_1 , α_0 та α_1 , відповідно, для того, щоб величини: T_1 , α_0 та α_1 , мали певні значення, необхідно і достатньо скласти ще два рівняння, що не залежать від рівняння (4), що зв'язують між собою ці величини.

Згідно з законом взаємодії крайці рифлю з натягом в гілках пасма T_0 і T_1 маємо:

$$\alpha_0 + \alpha_1 = \theta; \quad (5)$$

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1}, \quad (6)$$

у тому числі перше рівняння виражає собою залежність величин α_0 і α_1 від заданого кута між гілками пасма, що охоплює крайку θ , а друге взято з тригонометричного співвідношення елементів трикутника сил, утвореного натягом та їх рівнодіючою.

Вирішуючи систему рівнянь знайдемо:

$$\cos \alpha_0 = \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \sin^2 \frac{\theta}{2}; \quad (7)$$

$$\cos \alpha_1 = \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \sin^2 \frac{\theta}{2}; \quad (8)$$

$$T_1 = T_0 \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} \quad (9)$$

Таким чином, знаючи величини T_0 , μ і θ завжди можна визначити величину T_1 .

Отже, сила тиску між пасмом і крайкою проходить всередині кута θ , будучи наближеною до гілки, що збігає і має більший натяг T_1 .

Величина:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} = K, \quad (10)$$

визначає коефіцієнт наростання натягу на крайці, так як ця величина є множником для переходу від величини натягу в гілці пасма, що набігає T_0 до величини, що збігає з крайки гілки пасма – T_1 . Коефіцієнт K показує, у скільки разів T_1 більше T_0 . Знаючи величини θ і μ завжди можна визначити величину і напрям сили дроблення, так як можна визначити обидві її складові: тиск – N і силу тертя ΔT .

Визначення сумарного натягу сил тертя. На практиці модель прикладених сил на пасмо волокна представлена на рис. 5. В даному випадку на пасмо діє не одна, а дві тіпальні крайки, що стикаються з пасмом в точках A_1 і A_2 . Припустимо, що натяг T_0 відомо, тоді використовуючи рівняння (9) визначимо:

$$T_1 = T_0 \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} K_1 T_0; \tag{11}$$

для точки A_2 :

$$T_2 = T_1 \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} = K_2 T_1 = K_2 K_1 T_0. \tag{12}$$

Якщо ми маємо n точок дотику, то отримаємо наступне рівняння:

$$T_n = K_n K_{n-1} \dots K_2 K_1 T_0. \tag{13}$$

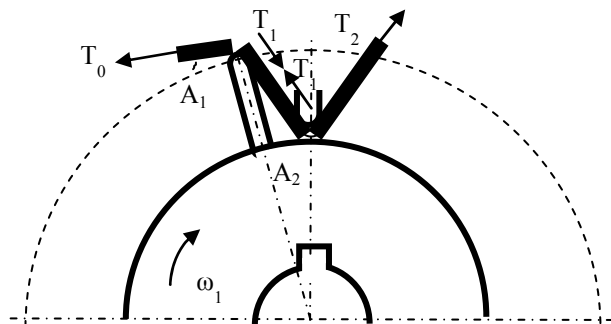


Рис. 5. Схема взаємодії двох рифлів вальця з пасмом волокна

Так як коефіцієнти K залежать тільки від величин μ і θ і не залежить від величини T_0 , то при однакових μ і θ ми матимемо $K_1 = K_2 = \dots = K_n$. У цьому випадку рівняння (13) прийме наступний вигляд:

$$T_n = K^n T_0. \tag{14}$$

Для одного і того ж пасма коефіцієнт тертя μ буде однаковим для різних точок за його довжиною, отже рівняння (14) буде застосовано для випадку відділення костриці декількома крайками одночасно при одному і тому ж вигині пасма на всіх крайках.

Розрахунок наростання напруги пасма на крайці рифлю. Всі перераховані вище обчислення базувалися на припущенні, що робоча крайка рифлю настільки мала, що тиск пасма вона сприймає в одній точці.

Нормальний тиск пасма на крайку нами приймалося рівним геометричній сумі натягу. Далі припустимо, що розміри крайки, гнучкість пасма і натяг настільки великі, що тиск пасма на крайку рифлю рівномірно розподілено за всьому периметру крайки, що має правильну циліндричну поверхню, то для визначення співвідношення між натягом в гілках пасма отримаємо наступне рівняння:

$$\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi - \theta)}, \tag{15}$$

- де T_1 – натяг в гілці пасма, що збігає;
- T_0 – натяг в гілці пасма, що набігає;
- e – основа натуральних логарифмів (2,7184);
- μ – коефіцієнт тертя;
- $(\pi - \theta)$ – кут охоплення пасмом крайки.

Для кращого розуміння застосовності рівняння (15) розглянемо малий елемент гнучкого зв'язку (рис. 6), що лежить на опорній поверхні і стягує кут $\Delta\phi$, що є частиною всього кута охоплення.

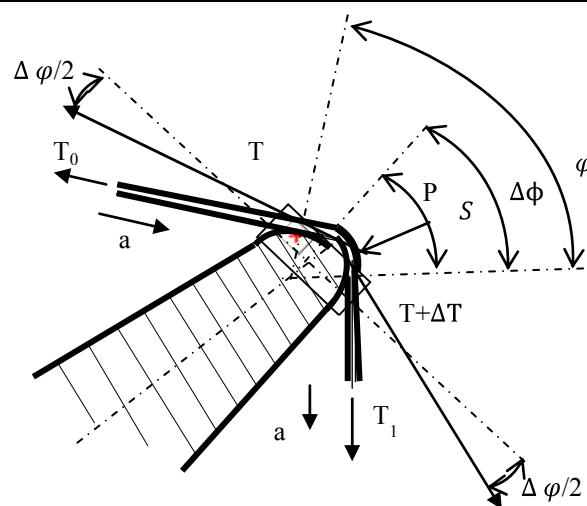


Рис. 6. Схема елемента жорсткого зв'язку між крайкою рифлю та пасмом волокна

Якщо жорсткий зв'язок, наприклад пасма луб'яних волокон, рухається опорною поверхнею в напрямку, зазначеному стрілками a , a та притому з настільки незначною швидкістю, що надають можливість знехтувати силами інерції (відцентровими), які розвиваються в елементах пасма при огинанні ними поверхні, то можемо розглядати окремий елемент пасма як тверде тіло, що знаходиться в рівновазі, отже проекції сил, прикладених до елемента, що діють в протилежні сторони, повинні дорівнювати один одному.

Нехай T – натяг на одному кінці елемента ΔS , $T + \Delta T$ натяг на іншому її кінці, P – нормальний тиск елемента на опорну поверхню, μ – коефіцієнт тертя між тілом опорної поверхні і пасмом.

Спроектвавши сили, прикладені до елемента на напрямок дотичної, отримаємо:

$$T \cos \frac{\Delta\varphi}{2} + \mu P = (T + \Delta T) \cos \frac{\Delta\varphi}{2}. \quad (16)$$

Провівши скорочення подібних членів, отримаємо:

$$\mu P = \Delta T \cos \frac{\Delta\varphi}{2}. \quad (17)$$

Спроектвавши сили на напрямок радіуса, отримаємо:

$$P = T \sin \frac{\Delta\varphi}{2} + (T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\varphi}{2} = (2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\varphi}{2}. \quad (18)$$

Після підстановки P в (17) отримаємо:

$$\mu(2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\varphi}{2} = \Delta T \cos \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (19)$$

або

$$\Delta T = \frac{\mu(2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos \frac{\Delta\varphi}{2}}, \quad (20)$$

або

$$2 \frac{\Delta T}{\Delta\varphi} = \frac{\mu(2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos \frac{\Delta\varphi}{2} \cdot \frac{\Delta\varphi}{2}}, \quad (21)$$

при $\Delta\varphi \rightarrow 0$ отримаємо:

$$\lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \left| \frac{\sin \frac{\Delta\varphi}{2}}{\frac{\Delta\varphi}{2}} \right| = 1; \quad (22)$$

$$\lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \left| \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \right| = 1; \quad (23)$$

$$\lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} |\Delta T| = 0; \quad (24)$$

звідки $dT/d\varphi = \mu T$, отже $dT/T = \mu \cdot d\varphi$.

Проведемо інтегрування цього рівняння в межах від T_0 до T_1 і відповідно від 0 до φ

$$\int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = \mu \int_0^{\varphi} d\varphi; \quad (25)$$

звідки:

$$\ln T_1 - \ln T_0 = \mu\varphi; \quad (26)$$

отже:

$$\ln \frac{T_1}{T_0} = \mu\varphi \text{ или } \frac{T_1}{T_0} = e^{\mu\varphi}. \quad (27)$$

Якщо кут між гілками пасма позначити θ , то $\varphi = \pi - \theta$. Підставляючи це значення φ в рівняння (27), отримуємо остаточний вираз:

$$\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi - \theta)}. \quad (28)$$

Наростання напруги, що виражене рівнянням (15) більш ефективно описує процес тертя, ніж рівнянням (9).

Розглянемо спосіб для підсумовування натягу від сил тертя на декількох крайках м'яльних вальців виходячи з рівняння (15). Виходячи з умов взаємодії крайки рифлю м'яльних вальців з пасмом волокна (рис.

4) для визначення наростання напруги в точці А, маємо залежність: $\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi - \theta_1)}$. Те ж саме для точки А₂

виглядає: $\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu(\pi - \theta_2)}$, отже:

$$\frac{T_1}{T_0} \cdot \frac{T_2}{T_1} = e^{\mu(\pi - \theta_1)} \cdot e^{\mu(\pi - \theta_2)}.$$

Для n точок тертя можна записати наступне рівняння:

$$\frac{T_n}{T_0} = e^{\mu[n\pi - (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n)]}, \quad (29)$$

Якщо $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n$, то рівняння (29) прийме наступний вигляд:

$$\frac{T_n}{T_0} = e^{n\mu(\pi - \theta)}. \quad (30)$$

Висновки

Аналіз розробленої теоретичної моделі взаємодії пасма волокна з крайками рифлів рубальних вальців дозволив встановити, що пасмо волокна необхідно розглядати як пружний елемент, який має наведену масу. Застосування моделі при проектуванні обладнання для виробництва та очищення короткоштапельного луб'яного волокна і для дослідження цього процесу дозволить більш точно визначити раціональні параметри роботи пропонованої технології.

За допомогою рівняння (30) можна обчислити результативний натяг для рубальних вальців м'яльної машини при тих же значеннях, які були прийняті під час підрахунку результативного натягу за рівнянням (14).

Література

1. Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки лубяных культур / А. М. Ипатов. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.
2. Клевцов К.М. Визначення оптимальних технологічних параметрів декортикації луб'яної сировини / К.М. Клевцов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5 (227). – С. 97–101.

Рецензія/Peer review : 31.1.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Чурсіна Л.А.