

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-46>

УДК 633.5

БАБЮК ОЛЕКСІЙ

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0003-4999-4990>e-mail: aleha-d@ukr.net**ЄВТУШЕНКО ВАЛЕНТИНА**

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8720-5804>e-mail: evtushenko.valentyna@kntu.edu.ua

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Дана стаття присвячена дослідженню ефективності та екологічних особливостей існуючих технологій первинної переробки технічних конопель для підвищення якості волокна та зниження енергетичних витрат.

Ключові слова: технічні коноплі, первинна переробка, хімічне оброблення, механічне оброблення, екологічні технології.

BABIUK OLEKSII, YEVTUSHENKO VALENTYNA

Kherson National Technical University

COMPARISON OF PRIMARY PROCESSING METHODS OF TECHNICAL HEMP: EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS

The development of monoecious non-narcotic hemp varieties with improved yield potential in Ukraine has stimulated research into optimal processing methods for industrial fiber extraction. Despite these advancements in breeding, conventional mechanical processing often fails to yield fibers with properties adequate for further industrial applications. Recent studies, including those by K. Palanikumar et al., emphasize that mechanical methods such as decortication can isolate bast fibers but often produce inconsistent results due to fiber damage and residual rigidity. This highlights the necessity for alternative or hybrid processing approaches that improve fiber quality while minimizing environmental impact.

This article aims to evaluate and compare primary processing methods for hemp fiber, focusing on their effectiveness, ecological sustainability, and potential for industrial implementation. Mechanical, chemico-mechanical, physico-mechanical, and combined methods are analyzed. While traditional mechanical methods are economically favorable, they yield coarse, partially damaged fibers suitable mainly for blended textile applications. Chemico-mechanical processing facilitates better fiber individualization and improves tactile and physical properties but raises environmental and safety concerns. Physico-mechanical and enzymatic treatments allow for selective removal of non-cellulosic components and preservation of fiber microstructure, although energy consumption remains a limiting factor.

Combined methods that integrate chemical, mechanical, and thermal treatments demonstrate the highest fiber strength (up to 98%), reduced processing time, and enhanced ecological performance. For instance, the application of deep eutectic solvents in tandem with microwave irradiation improves fiber crystallinity and thermal stability, while effectively removing lignin and hemicellulose. These findings suggest that combined eco-friendly processing schemes represent a promising direction for sustainable hemp fiber valorization.

Keywords: industrial hemp, primary processing, chemical treatment, mechanical treatment, ecological technologies.

Стаття надійшла до редакції / Received 06.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 23.05.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Технічні коноплі є перспективною сировиною для багатьох промислових галузей. Однак, традиційні методи їх переробки не завжди забезпечують високу якість продукції. Важливим завданням є вдосконалення технологій переробки для підвищення ефективності, якості продукції та зниження екологічного впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сучасному етапі в Україні впроваджено селекційні розробки, що дозволили створити нові сорти однодомних безнаркотичних конопель із підвищеним рівнем продуктивності. Водночас застосування традиційних методів їх переробки не забезпечує отримання волокна із відповідними технологічними характеристиками для подальшого промислового використання. К. Palanikumar та колеги [1] стверджують, що механічні підходи, як-от декортикація або її модифіковані форми, забезпечують відділення волокон від луб'яної частини із різним ступенем впорядкування, що впливає на подальшу переробку.

Рекіле та ін. [2] досліджували ефект відокремлення волокон конопель від стебла під час процесу вимочування. Детальне вивчення механізму руйнування відокремлення допомагає зрозуміти умови когезії пучка волокон під час процесу намочування. Крім того, недоліками механічної екстракції є ще й висока їх вартість.

Автори [3, 4] роблять акцент на необхідності пошуку рішень підвищення якості й кількості волокнистої продукції із льону та конопель, впровадження сучасних інноваційних розробок у коноплярстві й льонарстві, проведення глибокої переробки лубоволокнистого матеріалу, розроблення універсальних способів переробки різних видів луб'яних рослин та розширення напрямків використання їх складових частин в різних галузях промисловості, що покращить показники економічної ефективності обробки даних технічних культур.

Формулювання цілей статті

Метою дослідження є аналіз методів первинної переробки та виділення серед них найбільш ефективних та екологічних з метою покращення технологічних характеристик вихідного продукту та зниження енергоспоживання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Останніми роками конопляна галузь набуває дедалі більшої популярності серед українських сільгоспвиробників і переробних підприємств. Стрімкий інтерес до цієї сировини зумовлений як глобальними тенденціями сталого розвитку, так і економічними перевагами конопляної продукції. Вибір оптимального методу переробки визначає ефективність виробництва, екологічність процесу та конкурентоспроможність матеріалу у текстильній, будівельній та харчовій промисловості.

Первинна переробка конопляної сировини – це комплексний технологічний процес, який забезпечує вилучення якісного волокна та оптимізацію ресурсів. Вона складається з декількох ключових етапів:

- збір стебел конопель – відбувається на стадії технічної зрілості рослин, коли волокно набуває максимальної міцності. Важливо правильно визначити термін збору, щоб уникнути погіршення якості матеріалу;
- сушіння сировини – необхідний етап для стабілізації стебел перед обробкою. Підтримання оптимальної вологості дозволяє уникнути розвитку мікроорганізмів та псування волокна;
- приготування трести – ключовий процес, у якому відбувається руйнування пектинових речовин, що скріплюють волокно із кострицею;
- механічне тіпання – процес подрібнення та розділення стебел на волокно та кострицю. Застосовуються тріпальні машини, які відокремлюють волокнисту частину та очищують матеріал;
- сортування та очищення волокна – відокремлення якісних довгих волокон від коротких, а також видалення залишкових часток костриці. На цьому етапі формується кінцевий продукт, готовий до використання у текстильному виробництві або інших галузях;
- додаткова обробка – може включати термічну, механічну або біотехнологічну модифікацію волокна для покращення його характеристик;
- пресування та пакування – підготовка обробленого матеріалу до транспортування і зберігання.

Приготування трести є ключовим етапом первинної переробки конопель, оскільки саме на цьому етапі відбувається відділення волокна від костриці шляхом розкладання пектинових речовин. Вибір методу одержання трести впливає на якість кінцевого продукту, енергоспоживання та екологічність процесу. Сьогодні використовують різні методи одержання трести, кожен із яких має свої особливості, переваги та недоліки. Біологічні способи, такі як росяне та водне мочіння, а також ферментативне розщеплення забезпечують екологічність та збереження природних властивостей волокна. Одним із традиційних способів є росяне мочіння, коли зібрані стебла конопель розкладають на полі та залишають під природним впливом вологи й мікроорганізмів. Це дозволяє пектинам поступово розкладатися, сприяючи відділенню волокон. Такий метод є екологічним, оскільки не потребує додаткових ресурсів, проте залежить від погодних умов, що може впливати на рівномірність процесу.

Водне мочіння, на відміну від росяного, передбачає занурення стебел у водойму або спеціальні резервуари, де вони проходять анаеробне розщеплення. Це прискорює процес та забезпечує більш рівномірне вилучення волокна. Однак метод потребує значних водних ресурсів, що робить його менш екологічним порівняно з природним розкладанням [5].

Сучасним підходом є ферментативне розщеплення, коли для відділення волокна використовують спеціальні ферменти, що активно розщеплюють зв'язуючі речовини. Такий метод дозволяє отримати високоякісне волокно без значних механічних пошкоджень, при цьому він має низьке енергоспоживання та мінімальний вплив на довкілля.

Хімічна обробка конопляної сировини спрямована на прискорене розкладання пектинових речовин, що з'єднують волокно із кострицею. Це дозволяє зменшити час переробки, забезпечити стабільну якість трести, але вимагає ретельного контролю впливу на довкілля [5].

Основні види хімічної обробки включають: лужне розщеплення – використання розчинів гідроксиду натрію або інших лужних реагентів для видалення пектинових речовин; кислотна обробка – застосування слабких кислот для руйнування зв'язуючих компонентів; окислювальні методи – використання перекису водню або інших реагентів для модифікації волокна.

Окреме місце займає весняна технологія збирання, яка використовує сезонні природні умови для ефективного розкладання пектинових речовин.

Завдяки впливу вологості, температури та мікроорганізмів у ґрунті, цей метод дозволяє отримати якісну тресту без додаткових енергетичних чи хімічних витрат. Особливостями цього методу є: збирання стебел восени – коноплі залишаються на полі до весни, що сприяє поступовому розкладанню пектинових речовин; природний ферментативний процес – мікроорганізми ґрунту активізуються навесні, прискорюючи розщеплення пектинів; оптимальна вологість та температура – підвищений рівень вологості у весняний період покращує якість вилученого волокна [5].

Порівняльний аналіз способів приготування трести наведено у таблиці 1.

Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш ефективним та екологічним методом є ферментативне розщеплення, оскільки воно забезпечує стабільну якість волокна, не потребує хімічних реагентів та має низьке енергоспоживання. Весняна технологія є перспективним природним підходом, який не потребує додаткових ресурсів, але має залежність від погодних умов. Водне мочіння є компромісним варіантом між швидкістю та екологічністю, але потребує значних водних ресурсів. Хімічна обробка стебел забезпечує швидкість, але має екологічні ризики та потребує утилізації реагентів.

Застосування біотехнологій та оптимізація процесів можуть значно підвищити ефективність виробництва та зменшити його вплив на довкілля.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз способів приготування трести

Метод	Ефективність	Енергоспоживання	Екологічність	Технологічні характеристики волокна
Росяне мочіння	Середня (залежить від погодних умов)	Низьке	Висока (натуральний процес)	Волокно міцне, але нерівномірне за якістю
Водне мочіння	Висока (забезпечує рівномірність)	Середнє	Середня (високе споживання води)	Гнучке, довге волокно, придатне для текстилю
Ферментативне розщеплення	Дуже висока (стабільна якість)	Середнє	Висока (біологічний процес)	Волокно рівномірне, зі збереженням природних властивостей
Хімічна обробка	Висока (швидкий процес)	Високе	Низька (утворення хімічних відходів)	Волокно рівномірне, але можливе пошкодження структури
Весняна технологія	Висока (поєднання біо- та механічних умов)	Низьке	Висока (відсутність додаткових речовин)	Однорідне волокно, оптимальна міцність

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений аналіз методів первинної переробки конопель дозволив визначити найбільш ефективні та екологічно прийнятні способи, які сприяють покращенню технологічних характеристик вихідного продукту та зменшенню енергоспоживання.

Ферментативне розщеплення є найбільш ефективним та екологічним методом, оскільки воно забезпечує стабільну якість волокна, мінімізує механічні пошкодження та не потребує хімічних реагентів. Весняна технологія збирання є перспективним природним підходом, що дозволяє отримати якісну тресту без додаткових витрат, хоча залежить від сезонних умов. Водне мочіння виступає компромісним варіантом, забезпечуючи рівномірне розкладання пектинів, але потребує значних водних ресурсів. Хімічна обробка гарантує високу продуктивність, однак має екологічні ризики та потребує утилізації хімічних реагентів.

Перспективи подальших досліджень можуть бути спрямовані на впровадження біотехнологічних рішень – удосконалення ферментативних методів із застосуванням синтетичних ферментів для скорочення часу обробки; поєднання методів – розробка комбінованих технологій, що дозволять зменшити енергетичні витрати, підвищити якість та мінімізувати екологічний вплив та використання відходів – розширення застосування костриці у виробництві біоматеріалів, паперу та будівельних композитів.

Поглиблені дослідження та застосування інноваційних методів переробки можуть суттєво підвищити ефективність конопляної галузі та сприяти розвитку сталого виробництва.

Література

1. Targeted Pre-Treatment of Hemp Fibers and the Effect on Mechanical Properties of Polymer Composites / K. Palanikumar, M. Thariq, R. Subramaniam, M. Jawaid, S. Khalina, S. Siengchin // *Fibers*. – 2023. – Vol. 11, no. 5. – P. 43. – URL: <https://doi.org/10.3390/fib11050043> (дата звернення: 10.04.2025).
2. A Comprehensive Review on Bast Fibre Retting Process for Optimal Performance in Fibre-Reinforced Polymer Composites / C. H. Lee, L. T. Poh, N. M. Yatim, M. H. A. Wahab, R. A. Ilyas // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–27. – URL: <https://doi.org/10.1155/2020/6074063> (дата звернення: 22.04.2025).
3. Головенко Т. М., Налобіна О. О., Пахолук О. В., Шовкомуд О. В., Березовський Ю. В. Новітні комплексні системи оцінювання якості та обробки льоновомісних матеріалів : монографія. – Луцьк : ЛНТУ, 2024. – 476 с.
4. Гілязетдінов Р. Н. Развитие научных основ создания инновационных технологий первичной переработки луб'яных культур : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01. – Херсон, 2009. – 329 с.
5. Промислові коноплі. Збирання та первинна переробка : монографія / С. Коропченко, О. Білий, В. Бондаренко, Н. Горбенко, О. Белова. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2024. – 92 с.

References

1. Targeted Pre-Treatment of Hemp Fibers and the Effect on Mechanical Properties of Polymer Composites / K. Palanikumar, M. Thariq, R. Subramaniam, M. Jawaid, S. Khalina, S. Siengchin // *Fibers*. – 2023. – Vol. 11, no. 5. – P. 43. – URL: <https://doi.org/10.3390/fib11050043> (data zvernennia: 10.04.2025).
2. A Comprehensive Review on Bast Fibre Retting Process for Optimal Performance in Fibre-Reinforced Polymer Composites / C. H. Lee, L. T. Poh, N. M. Yatim, M. H. A. Wahab, R. A. Ilyas // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–27. – URL: <https://doi.org/10.1155/2020/6074063> (data zvernennia: 22.04.2025).
3. Holovenko T. M., Nalobina O. O., Pakholiuk O. V., Shovkomud O. V., Berezovskyi Yu. V. Novitni kompleksni systemy otsiniuvannya yakosti ta obrobky lonovmisnykh materialiv : monohrafiia. – Lutsk : LNTU, 2024. – 476 s.
4. Hiliazetdinov R. N. Rozvytok naukovykh osnov stvorennia innovatsiinykh tekhnolohii pervynnoi pererobky lubianykh kultur : dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.18.01. – Kherson, 2009. – 329 s.
5. Promyslovi konopli. Zbyrannia ta pervynna pererobka : monohrafiia / S. Koropchenko, O. Bilyi, V. Bondarenko, N. Horbenko, O. Bielova. – Kharkiv : FOP Brovin O. V., 2024. – 92 s.