

PNEUMOTHERMAL METHOD OF OBTAINING CONIFEROUS NEEDLES FOR PRODUCTION OF TEXTILE FIBERS

O. Tkachuk¹, A. Herasymchuk^{1*}, V. Reznikova²

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²Kherson State Agrarian and Economic University, Kropyvnytskyi, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Modern forestry and environmental requirements determine the need to use more advanced technologies and equipment for complete processing of coniferous tree crowns. In particular, needles are used for the production of pine extract and essential oil, feed, organic fertilizers, pulp and biofuel. It is promising to obtain natural fibrous materials from wood raw materials, in particular, obtaining textile fiber from needles. High-quality raw materials are required to obtain textile fiber from needles. The available methods of obtaining needles have significant disadvantages in view of the possibility of their further use for the production of textile fibers and are energy-consuming. Known methods of obtaining needles according to the principle of action can be divided as following: mechanical; pneumomechanical; electrohydraulic; high-frequency field; cryogenic. The harvesting of needles for the production of textile fibers is inextricably linked with the harvesting of coniferous trees. The method of morphological analysis was used to synthesize variants of the technological process of obtaining needles. In the technological process of harvesting coniferous trees, characteristic functional morphological features are highlighted: felling of trees; tree drifting; clearing of trees; destruction of connections between needles and branches; separation of needles from branches and their transportation to the needle collector. For each of the morphological features, the most complete list of possible options for technical solutions has been compiled. The following equipment for collecting needles is offered: a stacking and packaging machine, a forwarder, a processor and a mobile unit for separating needles, which consists of a drying chamber, a vacuum pneumatic transport system and a needle collector. Further research on the improvement of the pneumothermal method of obtaining needles should be carried out in the direction of theoretical and experimental substantiation of the modes of operation of the mobile unit for the separation of needles.

Key words:

needle,
textile fiber,
morphological analysis,
vacuum pump,
pneumothermal method

Article history:

Received 01.09.2022

Accepted 30.09.2022

*Corresponding author:

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.842

To cite this article:

Tkachuk, O., Herasymchuk, A., & Reznikova, V. (2022). Pneumothermal method of obtaining coniferous needles for production of textile fibers. *Agricultural Machines*, 48, 67-73. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.842>

УДК 630*8:677.1

ПНЕВМОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ХВОЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ВОЛОКОН

О.Л. Ткачук¹, О.П. Герасимчук^{1*}, В.В. Резнікова²¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Херсонський державний аграрно-економічний університет, Кропивницький, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Сучасні лісівничі та екологічні вимоги обумовлюють потребу використання більш досконалих технологій та техніки для повної переробки крон дерев хвойних порід. Зокрема, хвоя використовується для виробництва хвойного екстракту та ефірної олії, кормів, органічних добрив, целюлози та біопалива. Перспективним є отримання волокнистих матеріалів із деревної сировини, зокрема отримання текстильного волокна із хвої. Відомі способи отримання хвої за принципом дії класифікують на: механічний, пневмомеханічний, електрогідралічний, високочастотним полем, криогенний. Ці способи отримання хвої мають значні недоліки з огляду на можливість її використання для виготовлення текстильних волокон та є енерговитратними. Заготівля хвої для виготовлення текстильних волокон нерозривно пов'язана із заготівлею дерев хвойних порід. Для синтезу варіантів технологічного процесу отримання хвої використано метод морфологічного аналізу. У процесі заготівлі дерев хвойних порід виокремлено характерні функціональні морфологічні ознаки: звалювання дерев; трелювання дерев; розкряжовування дерев; руйнування зв'язків хвої з гілками; відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвоєзбірника. За кожною із морфологічних ознак складено максимально повний перелік можливих варіантів технічних рішень. Запропоновано технологічне обладнання для заготівлі хвої: звалювально-пакетувальна машина, форвардер, процесор та мобільна установка для відокремлення хвої, яка складається з сушильної камери, вакуумної системи транспортування та збірника хвої. Подальші дослідження з удосконалення пневмотермічного способу отримання хвої доцільно виконувати у напрямі теоретичного та експериментального обґрунтування режимів роботи мобільної установки для відокремлення хвої.

Ключові слова:

хвоя,
текстильне волокно,
морфологічний аналіз,
вакуумний насос,
пневмотермічний спосіб

Історія публікації:

Отримано 01.09.2022
Затверджено 30.09.2022

*Автор для листування:

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.842

Цитувати цю статтю:

Ткачук, О. Л., Герасимчук, О. П., & Резнікова, В. В. (2022). Пневмотермічний спосіб отримання хвої для виготовлення текстильних волокон. *Сільськогосподарські машини*, 48, 67-73. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.842>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні лісівничі та екологічні вимоги обумовлюють потребу використання більш досконалих технологій та техніки для повної переробки крон дерев хвойних порід, зокрема хвої. Хвоя використовується для виробництва:

- хвойного екстракту та ефірної олії (Волинське ОУЛМГ, 2020);
- кормів: кормового борошна та добавок;
- органічних добрив;
- деревної целюлози для виробництва хімічних волокон (Gupta et al., 2020; Ткачук & Герасимчук, 2021);
- енергії: біогазу (Bisht et al., 2014; Dwivedi et al., 2016) та біовугілля (Mandal et al., 2021; Chaturvedi et al., 2022).

Перспективним напрямом переробки хвої, що потребує ґрунтового дослідження, є отримання природних волокнистих матеріалів із неї. Зокрема, технологія одержання з соснових голок волокнистого матеріалу, так званої «лісової вовни», яка застосовувалася в давнину. Це волокно використовувалося для виготовлення теплих в'язаних речей та вважалося корисним для здоров'я (Ткачук & Герасимчук, 2021). Проте, ця технологія на сьогодні не впроваджена у промислових масштабах.

Отримання текстильного волокна із хвої потребує наявності високоякісної сировини – хвої, що відокремлена від інших складових частин крони (кори та гілок), які є сміттєвими домішками.

Способи отримання хвої за принципом дії класифікують на (Пивовар & Герасимчук, 2021):

- механічний;
- пневмомеханічний;
- електрогідрравлічний;
- високочастотним полем;
- криогенний.

Механічний спосіб є найбільш поширеним і здійснюється за допомогою стаціонарних та пересувних відокремлювачів хвої шляхом дії на гілки із хвою робочих органів барабанного типу (Пивовар & Герасимчук, 2021). Під час контакту з робочими органами – валами та ножами (рис. 1) – хвоя пошкоджується (поверхневий шар і волокна). Також отримана сировина потребує додаткового сортування перед подальшою переробкою на волокно.

Пневмомеханічний спосіб передбачає поділ попередньо подрібненої механічним

шляхом крони дерева на фракції за допомогою установки, що складається з рубальної машини барабанного типу та вузла пневмосепарування (Пивовар & Герасимчук, 2021). Це дозволяє на задовільному рівні відокремити хвою від домішок. Проте, під час поділу проміжна фракція піддається повторному подрібненню (рис. 2), а отже пошкодженню волокон, тобто основний недолік механічного способу посилюється.

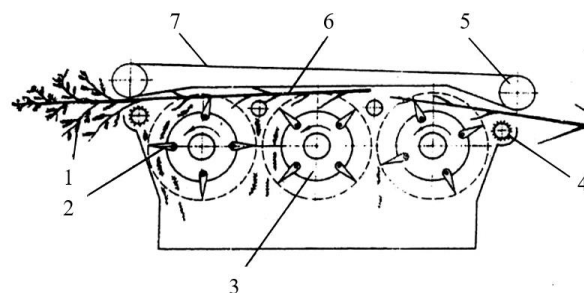


Рис. 1 – Пристрій для механічного відокремлення хвої ОДЗ-3,0:

1 – гілка; 2 – ножі; 3 – барабан; 4, 5 – вали притискні; 6 – вали опорні; 7 – транспортер

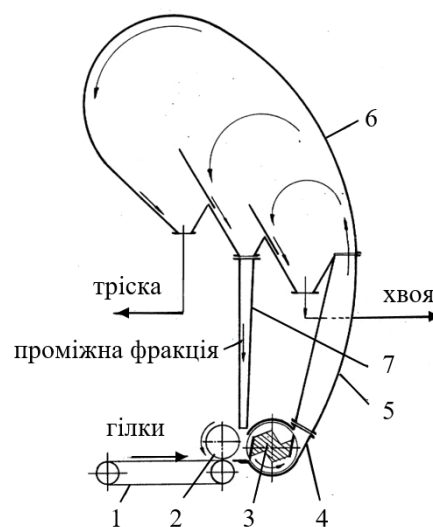


Рис. 2 – Пневмомеханічний пристрій для відокремлення хвої:

1 – транспортер; 2 – вал; 3 – ротор ножевий барабанний; 4 – корпус; 5 – тріскопровід; 6 – бункер; 7 – лоток

Електрогідрравлічний спосіб ґрунтується на явищі електрогідрравлічного удару, що виникає під час проходження через воду електричного струму потужністю 10 кВт та спричиняє відокремлення хвої від гілок (Пивовар &

Герасимчук, 2021). Недоліком цього способу є необхідність видалення вологи з отриманої хвої, а також втрата хвоєю структурно-клітинної цілісності та зниження якості отриманого волокна.

Відокремлення хвої високочастотним полем проводиться у діелектричній камері, в якій створюється надвисокочастотне поле (Пивовар & Герасимчук, 2021). Цей спосіб є досить складним у реалізації, потребує значних затрат енергії і не забезпечує повного відокремлення хвої від гілок.

У теплоізольованій криогенній камері реалізується криогенний спосіб за температури від -24°C до -30°C , де гілки із хвоєю витримуються в газоповітряному середовищі до повного замерзання. Під час витримування відбувається кристалізація протоплазми у клітинах сполучних тканин хвої із гілками, сполучні тканини стають крихкими та руйнуються механічною дією (Пивовар & Герасимчук, 2021).

Установка для відокремлення деревної хвої криогенним способом дозволяє отримати чисту хвою зі збереженням цінних речовин та забезпечити безпечну роботу пристрою. Недоліком криогенного способу є складність конструкції установки та значні енерговитрати на процес відокремлення хвої. Отже, наявні способи отримання хвої мають значні недоліки з огляду на можливість її подальшого використання для виготовлення текстильних волокон та є енерговитратними.

Мета дослідження – розробити енергоефективний спосіб отримання хвої для виготовлення текстильних волокон із максимальним збереженням структури та мінімальною кількістю домішок, що дозволить повністю переробляти крони хвойних дерев.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час розроблення способу отримання хвої та схеми установки застосовували метод морфологічного аналізу (Eriksson & Ritchey, 2002; Панкратова & Савченко, 2009) для синтезу варіантів та системний підхід для вибирання кращого технічного рішення.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Хвою для виготовлення текстильних волокон отримують під час заготівлі дерев

хвойних порід. Для синтезу варіантів цього технологічного процесу використовуємо метод морфологічного аналізу, що запропонований швейцарським вченим Фріцем Цвікі (Zwicky, 1989) і передбачає послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення.

У технологічному процесі заготівлі дерев хвойних порід виокремимо характерні функціональні морфологічні ознаки:

- звалювання дерев;
- трелювання дерев;
- розкряжовування дерев;
- руйнування зв'язків хвої із гілками;
- відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвоезбірника.

За кожною із цих морфологічних ознак складено максимально повний перелік можливих варіантів технічних рішень для реалізації відповідних операцій (**таблиця**).

Після перебирання всіх можливих поєднань варіантів виділених морфологічних ознак було запропоновано технологічний процес (**рис. 3**):

1. Звалювання дерев, що виконується звалювально-пакувальною машиною. Під час звалювання дерев необхідно забезпечити найменшу втрату деревної хвої, що обумовлена крихкістю пагонів та значно посилюється із зниженням температури повітря. Звалювально-пакувальна машина оснащена маніпулятором із захоплювачем і циркулярною пилкою, яка захоплює дерева, їх спилує та укладає у пачки.

2. Трелювання дерев хвойних порід на верхній склад, що виконується форвардером. Необхідність збереження хвої для подальшого перероблення не допускає трелювання дерев із кроною на верхній склад трелювальними тракторами, оскільки зумовлює недопустимо великі втрати деревної хвої. Форвардер є двомодульною машиною, що оснащена кабіною з системою управління та вантажною платформою з краном-маніпулятором, який завантажує дерева із пачки на вантажну платформу та розвантажує їх на верхньому складі.

3. Розкряжовування дерев на верхньому складі, що виконується за допомогою процесора. Дереву захоплюються процесором за вершину, обрізаються гілки та, після обертання на 180° , розкряжовуються. У результаті гілки із хвоєю складаються в купи, а сортименти – у штабеля.

Таблиця – Морфологічна таблиця

Морфологічна ознака	Варіанти технічного рішення				
Звалювання дерев	бензомоторна пила		звалювально-пакетувальна машина	лісозаготівельний комбайн (харвестер)	
Трелювання дерев	чокерний трелювальний трактор		безчокерний трелювальний трактор	форвардер (транспортер-навантажувач)	
Розкряжовування дерев	бензомоторна пила		процесор	лісозаготівельний комбайн (харвестер)	
Руйнування зв'язків хвої з гілками	механічний спосіб	електро-гідравлічний спосіб	термічний спосіб (сушіння)	високочастотне поле	криогенний спосіб
Відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвосзбірника	механічний спосіб		пневматичний нагнітальний спосіб	пневматичний вакуумний спосіб	

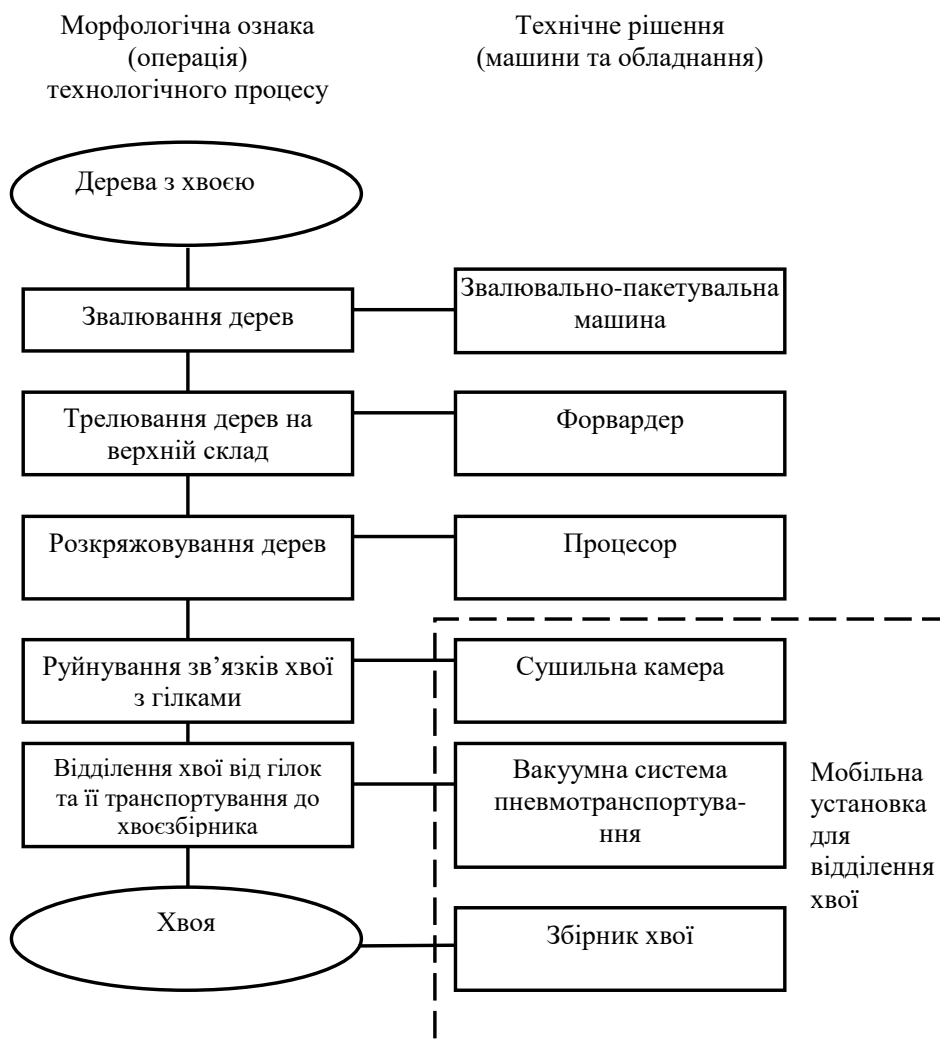


Рис. 3 – Технологічний процес, машини та обладнання для заготівлі хвої

4. Руйнування зв'язків хвої із гілками, що виконується у сушильній камері мобільної установки для відокремлення хвої (рис. 4). У процесі сушіння послаблюється зв'язок гілок з хвоєю, тому для їх відокремлення необхідно прикладати менші зусилля. Під час сушіння хвої зменшується вміст у ній корисних речовин, що може негативно позначитися на кількості та якості кінцевої продукції за комплексної переробки хвої. Проте, для використання хвої у виробництві текстильних волокон тривалість сушіння може бути збільшена.

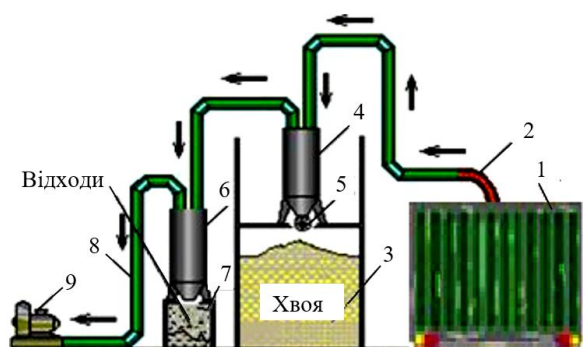


Рис. 4 – Принципова схема мобільної установки для відокремлення хвої:

- 1 – сушильна камера; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – збірник хвої; 4 – циклон відокремлення хвої; 5 – шлюзовий затвор; 6 – циклон відокремлення відходів; 7 – збірник відходів; 8 – повітропровід

5. Відокремлення хвої від гілок та її транспортування до збірника хвої. Ця операція виконується вакуумною системою пневмотранспортування, яка є в конструкції мобільної установки для відокремлення хвої, основними складовими частинами якої є аеродинамічна сушильна камера, циклони, вакуумний насос та збірник хвої (рис. 4). Із сушильної камери всмоктується повітря разом із хвоєю та відходами. Гілки мають більшу масу, тому залишаються в сушильній камері. Суміш повітря із хвоєю надходить всмоктувальним трубопроводом у циклон відокремлення хвої. Відокремлення хвої відбувається під дією відцентрової сили. Хвоя через шлюзовий затвор надходить у збірник хвої. Очищення повітря від дрібних відходів відбувається у циклоні відокремлення відходів. Ці відходи надходять у збірник відходів. Вакуум у

повітропроводі забезпечується за допомогою вакуумного насоса.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що використання хвої для виготовлення текстильних волокон є доцільним. Для заготівлі хвої рекомендується застосовувати пневмотермічний спосіб, який ґрунтується на технологічному процесі заготівлі дерев хвойних порід та містить технологічні операції: звалювання дерев, трелювання дерев, розкряжування дерев, руйнування зв'язків хвої із гілками, відокремлення хвої від гілок та її транспортування до збірника хвої. Для синтезу варіантів технологічного процесу використано метод морфологічного аналізу, що дозволило запропонувати технологічне обладнання для заготівлі хвої: звалювально-пакувальну машину, форвардер, процесор та мобільну установку для відокремлення хвої, яка містить сушильну камеру, вакуумну систему пневмотранспортування та збірник хвої. Подальші дослідження доцільно виконувати у напрямі теоретичного та експериментального обґрунтування технологічних режимів роботи мобільної установки для відокремлення хвої, принципова схема якої представлена на рис. 4.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Bisht, A. S., Singh, S., & Kumar, S. R. (2014). Pine needles a source of energy for himalayan region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(12), 161-164.
- Chaturvedi, S., Singh, S. V., Dhyani, V. C., Govindaraju, K., Vinu, R., & Mandal, S. (2021). Characterization, bioenergy value, and thermal stability of biochars derived from diverse agriculture and forestry lignocellulosic wastes. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01239-2>
- Dwivedi, R. K., Singh, R. P., & Bhattacharya, T. K. (2016). Studies on bio-pretreatment of pine needles for sustainable energy thereby preventing wild forest fires. *Current Science*, 111(2), 388-394.
- Eriksson, T., & Ritchey, T. (2002). Scenario development using computerised morphological analysis. In: *Adapted from Papers Presented at the Cornwallis and Winchester International OR Conferences*. England.
- Gupta, P. K., Joshi, G., Rana, V., Rawat, J. S., & Sharma, A. (2020). Utilization of pine needles for preparation of sheets for application as internal packaging material. *Indian Forester*, 146(6), 538-543. <http://doi.org/10.36808/if/2020/v146i6/150420>

- Mandal, S., Sharma, R. K., Bhattacharya, T. K., Tanna, H., & Haydary, J. (2022). Charring of pine needles using a portable drum reactor. *Chemical Papers*, 76, 1239-1252. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01893-4>
- Zwicky, F. (1989). *Morphologische Forschung*. Glarus: Baeschlin.
- Волинське ОУЛМГ. (2020). *Екстракт хвойний натуральний: виробництво унікального продукту стимулює до більш раціонального використання деревини (Natural coniferous extract: the production of a unique product stimulates more rational use of wood)*. Retrieved August 10, 2022, from <https://lisvolyn.gov.ua/?p=48314>
- Панкратова, Н. Д., & Савченко, І. О. (2009). Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення (*Applying the method of morphological analysis in technological forecasting process*). *Наукові вісники НТУУ «КПІ»*, 2, 35-44.
- Пивовар, С., & Герасимчук, О. (2021). Огляд обладнання для отримання високоякісної деревної хвої (*Overview of equipment for obtaining high-quality wood needles*). В: *I студентська науково-технічна конференція: Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні* (С. 97-101). Луцьк: ЛНТУ.
- Ткачук, О., & Герасимчук, О. (2021). Стан та перспективи застосування деревної целюлози для виробництва хімічних волокон (*The state and prospects of the use of wood pulp for the production of chemical fibers*). В: *IX Ukrainian-Polish Scientific Dialogues: Conference Proceedings. International Scientific Conference, 20-23 October 2021* (pp. 204-205). Khmelnytskyi, Ukraine.