

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL REGIME FOR EXTRACTING FIBER FROM SCOTS PINE NEEDLES

O. Tkachuk, A. Herasymchuk*, N. Kovalchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

Scots pine needles are a promising raw material for the production of both man-made and natural textile fibers. The concept of obtaining natural fibers from needles has significant ecological and economic potential. The purpose of the research is to intensify the technological mode of fiber extraction from Scots pine needles and to improve its quality indicators. The article examines the technological mode of fiber extraction from pine needles, which is a promising raw material for the production of natural textile fibers. The study of pine needles was carried out with the aim of intensifying the technological mode of fiber extraction. A review of known researches was carried out and it was established that the promising directions for improvement of the technological mode of obtaining textile fibers from pine needles are to increase its environmental friendliness, in particular, to reduce the concentration of sodium hydroxide (NaOH), as well as to minimize the duration of temperature treatment. Studies have shown that resins, essential oils and other substances contained in the needles are actively released at the initial stage of processing, after which their release slows down significantly and there is a need to replace the bath. In order to intensify the process of fiber release, it has been suggested to mechanically destroy the epidermal layer of needles before chemical treatment. Research results show that increasing the concentration of NaOH from 50 g/l to 100 g/l is impractical because the resulting fiber has a darker colour. The technological mode of fiber processing is proposed: preliminary mechanical processing of the fiber between corrugated shafts, two-bath treatment with a solution of sodium hydroxide NaOH with a concentration of 50 g/l at a temperature of 100°C for 10 minutes in the first bath and 30 minutes in the second bath. The fiber obtained by the proposed method is complex, long, with an uneven surface, heterogeneous in colour and thickness.

Key words:

extraction of fiber,
Scots pine needles,
technological regime,
cellulose,
textile fibers

Article history:

Received 28.05.2024

Accepted 19.06.2024

*Corresponding author:

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1413

To cite this article:

Tkachuk, O., Herasymchuk, A., & Kovalchuk, N. (2024). Justification of technological regime for extracting fiber from scots pine needles. *Agricultural Machines*, 50, 129-135. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1413>

УДК 582.475

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ВИДІЛЕННЯ ВОЛОКНА
З ХВОЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ****О.Л. Ткачук, О.П. Герасимчук*, Н.П. Ковальчук***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Хвоя сосни звичайної є перспективною сировиною для виробництва як хімічних волокон, так і натуральних текстильних волокон. Концепція отримання натуральних волокон з хвої має значний екологічний та економічний потенціал. Мета цього дослідження – інтенсифікувати технологічний режим виділення волокна з хвої сосни звичайної та покращити його якісні показники. У статті досліджено технологічний режим виділення волокна з хвої сосни звичайної, що є перспективною рослинною сировиною для виробництва натуральних текстильних волокон. Дослідження хвої сосни звичайної проводили з метою інтенсифікації технологічного режиму виділення волокна. Виконано огляд відомих досліджень та встановлено, що перспективними напрямками удосконалення технологічного режиму отримання текстильного волокна з хвої сосни звичайної є підвищення його екологічності, зокрема, зменшення концентрації натрію гідроксиду (NaOH), а також мінімізація тривалості температурного оброблення хвої. Дослідження показали, що смоли, ефірні олії та інші речовини, що містяться в хвої, активно виділяються на початковому етапі оброблення, після чого їх виділення значно сповільнюється та виникає потреба заміни ванни. Для інтенсифікації процесу виділення волокна було запропоновано механічно руйнувати шар епідермісу хвої перед хімічним обробленням. Результати досліджень вказують на те, що підвищення концентрації NaOH з 50 г/л до 100 г/л є недоцільним, оскільки отримане волокно має темний колір. Запропоновано технологічний режим оброблення волокна: попереднє механічне оброблення волокна між рифленими валами, двохванне оброблення розчином натрію гідроксиду NaOH концентрацією 50 г/л за температури 100°C та тривалістю у першій ванні – 10 хв і у другій ванні – 30 хв. Отримане волокно є комплексним, довгим, з нерівномірною поверхнею, неоднорідне за кольором та товщиною.

Ключові слова:

виділення волокна,
хвоя сосни звичайної,
технологічний режим,
целюлоза,
текстильні волокна

Історія публікації:

Отримано 28.05.2024

Затверджено 19.06.2024

***Автор для листування:**

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1413

Цитувати цю статтю:

Ткачук, О. Л., Герасимчук, О. П., & Ковальчук, Н. П. (2024). Обґрунтування технологічного режиму виділення волокна з хвої сосни звичайної. *Сільськогосподарські машини*, 50, 129-135. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1413>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Хвоя сосни звичайної, що залежно від умов зростання містить до 54% целюлози, є перспективною сировиною для виробництва хімічних волокон, а також й натуральних текстильних волокон (Mandal et al., 2022; Herasymchuk & Tkachuk, 2023). Концепція отримання натуральних волокон з хвої має значний екологічний і економічний потенціал. Способи отримання натуральних волокон з хвої відомі досить давно. Зокрема, в північних широтах Євразії використовували «лісову вовну», отриману з соснових голок, для виготовлення теплих речей (Ткачук та ін., 2022). У США було запатентовано технологію отримання натурального хвойного волокна ще у 1890 році. Проте, з часом ці способи забулися, а запатентовані ідеї не отримали подальшого розвитку та використання.

У сучасних умовах зростаючих вимог до ощадливого використання природних ресурсів та застосування натуральних матеріалів, використання хвої для отримання натуральних текстильних волокон отримало новий розвиток. Концепція виробництва натуральних текстильних волокон з хвої «Forest Wool/Pine needle fiber» відзначена нагородою Green Product Award як перспективна розробка (Green Concepts, d.n.). Можливість створення текстильних матеріалів з хвої, що мають унікальні властивості, досліджувалася у наукових працях (Mahapatra, 2022; Mandal et al., 2022; Herasymchuk & Tkachuk, 2023). Ці дослідження проводили з використанням хвої різних деревних порід та хімічного складу, що впливає на технологію виділення волокна.

Важливою умовою отримання якісного волокна з хвої є якісна сировина з хвої. Відокремлення хвої від кори та гілок можливе із застосуванням пневмотермічного способу та відповідної установки, в якій цей процес здійснюється вакуумною системою після попереднього сушіння сировини з очищенням у циклонах (Ткачук та ін., 2022). Розроблено технологічний режим виділення текстильного волокна з хвої сосни звичайної, що містить її оброблення за температури 100°C упродовж 50 хв у розчині натрію гідроксиду (NaOH) концентрацією 70 г/л (Herasymchuk & Tkachuk, 2023). Отримане у такий спосіб волокно з хвої є занадто жорстким та потребує оброблення перед прядінням. Перспективним напрямом

удосконалення розробленого технологічного процесу є підвищення його екологічності шляхом зниження концентрації NaOH, а також мінімізація температурного оброблення.

Мета дослідження – інтенсифікувати технологічний режим виділення волокна з хвої сосни звичайної та покращити його якісні показники.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Матеріалом для проведення дослідження була свіжозібрана з нижньої частини крон дерев сосни звичайної хвоя довжиною 7–8 см. Листки хвої сосни звичайної (рис. 1) мають форму неправильного ромба та містять три шари: епідерміс (кутикула, гіподерміс та ендодерміс), мезофіл та пучки провідних тканин (ксилем, флоем та трансфузійна тканина) (Morrow, d.n.). Епідерміс відповідає за функції захисту листка від вологи та шкідників, має гладку поверхню та вкритий воском. В епідермісі наявні стоми (продихи) – місця, через які відбувається газообмін з навколишнім середовищем. Мезофіл містить хлоропласти, забезпечує фотосинтез та має досить малу товщину. У смоляних каналах зберігається смола, що є захисною речовиною, та виділяється у випадку пошкодження стебла. Пучками провідних тканин проходить перенесення води та поживних речовини. Пучки провідних тканин містять волокна целюлози, які необхідно виділити.

Для визначення маси зразків хвої (кількість хвої у зразку 100 шт) та отриманого волокна використовували лабораторну вагу WPS 110/C/1 (Польща) з максимальною межею зважування 110 г та точністю 0,001 г (рис. 2). Для оброблення хвої використовували розчин гідроксиду натрію NaOH, що добре розчиняється у воді та має сильні лужні властивості. Проводили також органолептичне оцінювання отриманого волокна (кольору та жорсткості), а також дослідження структури за допомогою цифрового мікроскопа Levenhuk DXT 90 та програмного забезпечення Micro Capture Plus (рис. 3).

М'яття хвої проводили шляхом її пропускання між двома рифленими валами (рис. 4, а), а для видалення вологи з волокна перед зважуванням її пропускали між двома прогумованими валами (рис. 4, б). Для вивчення впливу параметрів технологічного

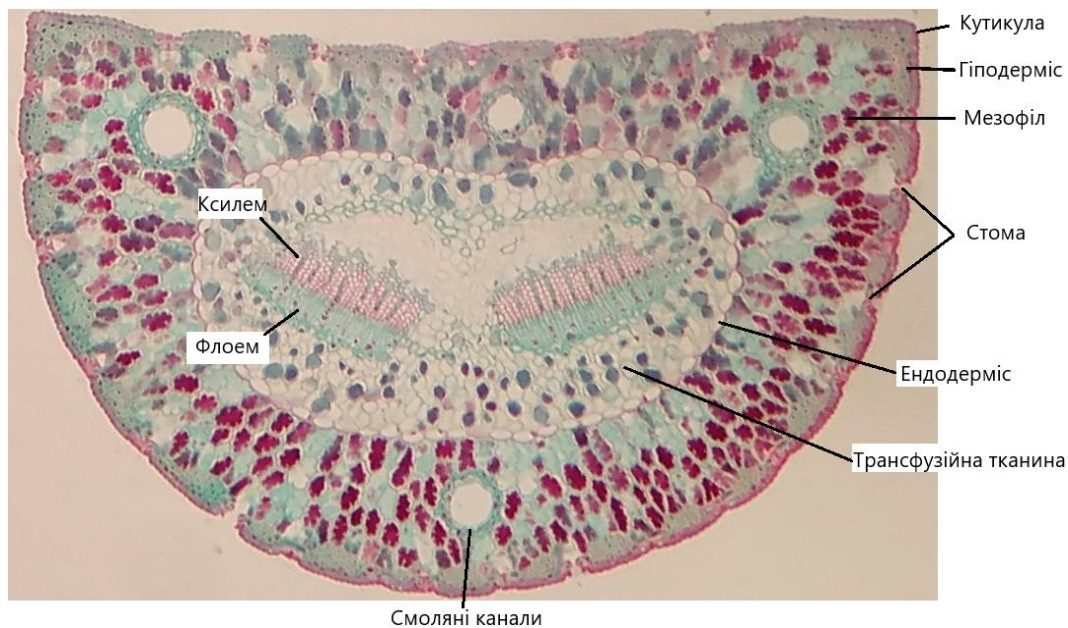


Рис. 1 – Поперечний переріз хвої сосни звичайної (*Morrow, d.n.*)



Рис. 2 – Визначення маси хвої на лабораторній вазі WPS 110/C/1 (Польща)

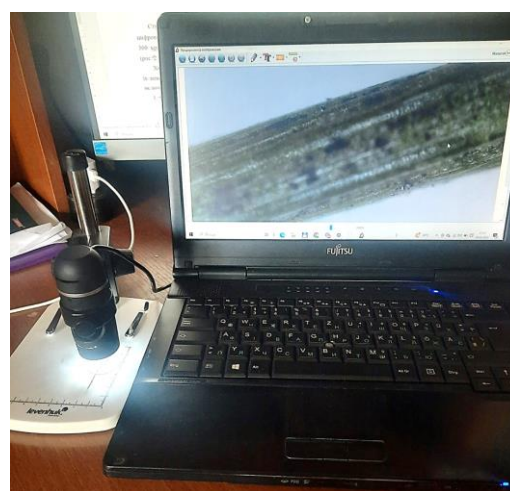


Рис. 3 – Дослідження структури хвої та волокна за допомогою мікроскопа Levenhuk DXT 90



а



б

Рис. 4 – Оброблення хвої та волокна шляхом пропускання між рифленими (а) та прогумованими (б) валами

режиму (концентрації розчину NaOH (C , г/л); температури оброблювального розчину (t , °C); тривалості оброблення (τ , хв чи год) маси зразків хвої (m , г)) проводили чотири групи дослідів з трикратною повторюваністю.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На основі аналізу анатомічної будови хвої (рис. 1) були зроблені припущення:

1. Проникнення розчину NaOH у хвою на початковому етапі відбувається через стоми (продихи). Отже, для інтенсифікації процесу виділення волокна з хвої необхідно механічно зруйнувати шар епідермісу, що покритий кутикулою.

2. Мезофіл суттєво не впливає на якість та вихід текстильного волокна з хвої.

3. Смола, яка міститься в смоляних каналах, ефірні олії та інші речовини, що містяться в хвої, інтенсивно виділяються з неї у розчин на початковому етапі оброблення хвої. За певного насичення розчину цими речовинами процес їх виділення значно сповільнюється. За такого насичення доцільно проводити заміну розчину.

Оброблення хвої у розчині гідроксиду натрію NaOH виконували після пропускання її між рифленими валами для механічного руйнування епідермісу (рис. 4, а).

Для визначення тривалості оброблення в першій ванні проводили чотири групи дослідів за різних умов:

- дослід 1: $C = 50$ г/л, $t = 100^\circ\text{C}$;
- дослід 2 – $C = 100$ г/л, $t = 100^\circ\text{C}$;
- дослід 3 – $C = 50$ г/л, $t = 20^\circ\text{C}$;
- дослід 4 – $C = 100$ г/л, $t = 20^\circ\text{C}$.

Зважування зразків хвої проводили після їх віджимання між прогумованими валами (рис. 4, б) для дослідів 1 та 2 з інтервалом 5 хв, для дослідів 3 та 4 – з інтервалом 12 год. Середні значення результатів дослідження представлені на рис. 5. Аналіз результатів показав, що інтенсивна зміна маси зразків хвої відбувалася в перші 10 хв за температури $t = 100^\circ\text{C}$ (досліди 1 та 2) та в перші 24 год за температури $t = 20^\circ\text{C}$ (досліди 3 та 4). Надалі ця інтенсивність різко зменшувалася, а отже доцільно було проводити заміну ванни.

Для визначення тривалості оброблення в другій ванні проводили аналогічні чотири групи дослідів для зразків хвої, що пройшли оброблення у першій ванні протягом 10 хв

(досліди 1 та 2) або 24 год (досліди 3 та 4) та були промиті в холодній воді й віджаті. Інші умови проведення дослідів були аналогічні дослідам, що проводилися в першій ванні. Усереднені результати досліджень подані на рис. 6. Їх аналіз свідчать про те, що після 30 хв оброблення за температури $t = 100^\circ\text{C}$ та після 48 год за температури $t = 20^\circ\text{C}$ маса зразків стабілізується.

Результати проведення органолептичного оцінювання отриманого волокна з хвої за показниками кольору та жорсткості подані у таблиці. Встановлено, що підвищення концентрації NaOH з 50 г/л до 100 г/л є недоцільним, оскільки отримане волокно є темнішим за інших однакових параметрів якості. Оброблення волокна за температури 20°C є тривалим, а отримане волокно більш жорстке та потребує додаткового оброблення перед прядінням.

За результатами проведених досліджень запропоновано технологічний режим виділення волокна з хвої, що передбачає: попереднє механічне оброблення волокна між рифленими валами, оброблення волокна у двох ваннах у розчині NaOH концентрацією $C = 50$ г/л за температури $t = 100^\circ\text{C}$, причому тривалість оброблення в першій ванні – $\tau = 10$ хв, а у другій ванні – $\tau = 30$ хв. Структура волокна, отриманого в результаті такого оброблення, досліджувалася за допомогою цифрового мікроскопа Levenhuk DXT 90 та програмного забезпечення MicroCapture Plus (рис. 7). Отримане волокно хвої було комплексним і довгим. Причому частина волокон була розташована паралельно, а частина волокон – перетиналася під різними кутами. Поверхня волокон була нерівномірною: деякі ділянки виглядали гладкими, а на інших – були наявні виступи та дрібні волокна. Були наявні варіації кольору та товщини волокон, що може вказувати на різні властивості або компоненти всередині волокна.

Під час досліджень не було ураховано модуль ванни, необхідний для впровадження технологічного режиму у виробництво, який впливає на ефективність оброблення та параметри якого доцільно визначити під час подальших досліджень. Доцільно також дослідити прядильну здатність отриманого волокна і, за потреби, призначити додаткове оброблення волокна з хвої перед подальшим прядінням.

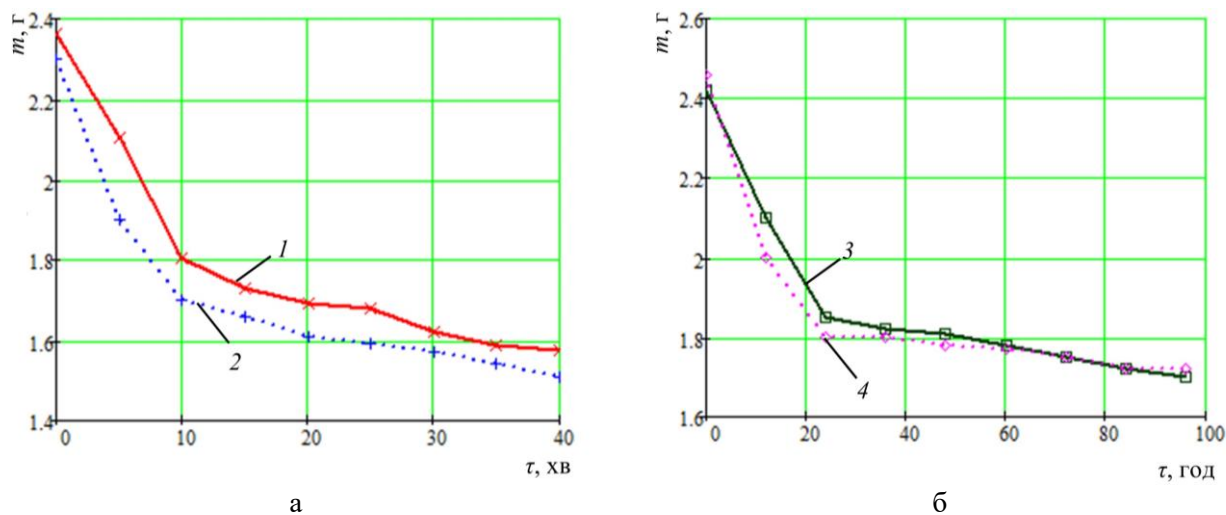


Рис. 5 – Інтенсивність зміни маси зразків у першій ванні
(1, 3 – концентрація NaOH $C = 50$ г/л; 2, 4 – концентрація NaOH $C = 100$ г/л):
а – за температури $t = 100^\circ\text{C}$; б – за температури $t = 20^\circ\text{C}$

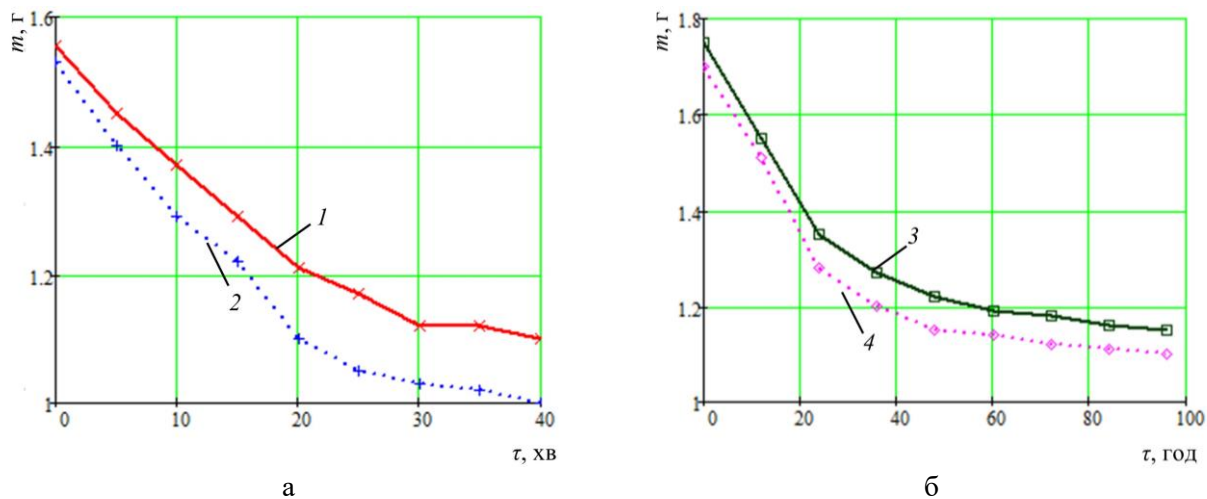


Рис. 6 – Інтенсивність зміни маси зразків в другій ванні
(1, 3 – концентрація NaOH $C = 50$ г/л; 2, 4 – концентрація NaOH $C = 100$ г/л):
а – за температури $t = 100^\circ\text{C}$; б – за температури $t = 20^\circ\text{C}$

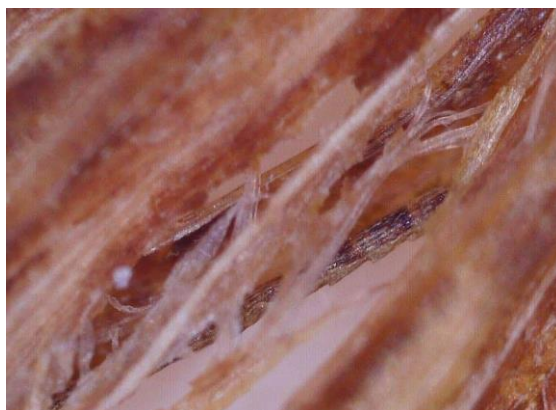




Рис. 7 – Структура волокна, що отримане з використанням рекомендованого режиму оброблення

Таблиця – Результати органолептичного оцінювання волокна хвої

Технологічний режим оброблення	Зовнішній вигляд волокна з хвої	Характеристика волокна
Режим оброблення двохванний; $C = 50$ г/л; $t = 100^\circ\text{C}$; перша ванна $\tau = 10$ хв; друга ванна $\tau = 30$ хв		Світле, жорстке
Режим оброблення двохванний; $C = 100$ г/л; $t = 100^\circ\text{C}$; перша ванна $\tau = 10$ хв; друга ванна $\tau = 30$ хв		Темне, жорстке
Режим оброблення двохванний; $C = 50$ г/л; $t = 20^\circ\text{C}$; перша ванна $\tau = 24$ год; друга ванна $\tau = 48$ год		Світле, дуже жорстке
Режим оброблення двохванний; $C = 100$ г/л; $t = 20^\circ\text{C}$; перша ванна $\tau = 24$ год; друга ванна $\tau = 24$ год		Темне, дуже жорстке

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень обґрунтовано технологічний режим виділення волокна з хвої сосни звичайної. Для інтенсифікації процесу виділення текстильного волокна доцільно механічно руйнувати шар епідермісу хвої перед хімічним обробленням.

Визначено, що оптимальними умовами для отримання якісного волокна є попереднє механічне оброблення волокна між рифленими валами, оброблення волокна з хвої у двох ваннах у розчині натрію гідроксиду (NaOH) концентрацією $C = 50$ г/л за температури $t = 100^\circ\text{C}$. Причому тривалість оброблення у першій ванні має становити $\tau = 10$ хв, а у другій ванні – $\tau = 30$ хв. У результаті отримано комплексне, довге, нерівномірне за кольором та товщиною текстильне волокно. Для досягнення оптимальної якості та прядильної здатності волокна необхідно продовжувати дослідження з удосконалення технологічних режимів його отримання.

Результати дослідження підтверджують перспективність використання хвої сосни звичайної як сировини для виробництва текстильних волокон.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Green Concepts. (n.d.). *Forest Wool/Pine needle fiber*. Retrieved May 12, 2024, from <https://www.gpaward.com/en/produkte/Forest-Wool>
- Herasymchuk, O., & Tkachuk, O. (2023). Regarding the question of obtaining natural textile fibers from pine needles. In *The V-th International Symposium Creativity. Technology. Marketing. Chişinău, Republic of Moldova* (pp. 203-209).
- Mahapatra, N. N. (2022). Processing of pine needles (perul) fibers in textile industries. *Dyes & Chemicals. Fibres and Yarns*. Retrieved May 13, 2024, from <https://textilevaluechain.in/news-insights/fibres-yarns-news/processing-of-pine-needles-perul-fibers-in-textile-industries/>
- 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.
- Morrow, M. (n.d.). A photographic atlas for botany (Morrow). *LibreTexts libraries*. Retrieved May 14, 2024, from https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Botany/A_Photographic_Atlas_for_Botany
- Ткачук, О. Л., Герасимчук, О. П., & Резнікова, В. В. (2022). Пневмотермічний спосіб отримання хвої для виготовлення текстильних волокон (*Pneumothermal method of obtaining coniferous needles for production of textile fibers*). *Сільськогосподарські машини*, 48, 67-73.