



Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство»
пам'яті д-ра Дмитра СТЕФАНІШИНА
(12 червня 2025 р., м. Київ, Україна)

Proceedings of the XXV International Science Conference
«Ecology. Human. Society»
dedicated to the memory of Dr. Dmytro STEFANYSHYN
(June 12 2025, Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2025.328903>

ВІДХОДИ ТОПІНАМБУРА У ВИГЛЯДІ СТЕБЕЛ ДЛЯ ВОЛОКНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Романія ЧЕРЬОПКІНА, Віталій КИСЛИЙ, Кіріл НЕЛІДОВ, Максим НАУМЕНКО

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

проспект Берестейський, м. Київ, 3703056, Україна

e-mail: chromi5@ukr.net

Анотація

Проведено делігніфікацію стебел топінамбура за витрат активного лугу 16 % в од. Na_2O від маси абс. сух сировини за температури 120 °C 15 хв, 30 хв та 45 хв з попереднім просочуванням продовж 30 хв. Показано отримання волокнистих напівфабрикатів підвищеного виходу із стебел топінамбура лужним способом придатних для виробництва картону у композиції з іншими ВНФ.

Ключові слова: топінамбур, січка, натронне варіння, делігніфікація.

Пошук джерел сировини для отримання волокнистих напівфабрикатів є нагальною проблемою для підприємств целюлозно-паперового виробництва. У першу чергу це пов'язано із недостатньою кількістю деревної сировини, яка вважається основною для виробництва картонно-паперової продукції. Але нині успішно використовуються волокна, отримані із недеревних видів для забезпечення необхідних властивостей пакувальних матеріалів, гігієнічних та санітарних товарів, таких як паперові рушники, туалетний папір та одноразові серветки [1]

Особливістю недеревних видів є те, що вони відрізняються як від деревини хімічним складом і морфологічною будовою, а також між собою та навіть між різними частинами однієї рослини (наприклад, стебло, листя, вузли) [2]. Для недеревних видів, які містять достатньо целюлози, характерно вищий вміст геміцелюлози, золи, екстрактивних речовин, особливо кремнієвих сполук у порівнянні з деревиною [2, 3]. До особливостей фізичної характеристики такої сировини відносять низьку насипну щільність, високий вміст різних типів волокон та у більшості коротку довжину волокон [3].

Необхідно зауважити, що нині технологіями достатньо вивчено та розроблено різних хімічних методів делігніфікації, які придатні для перероблення будь-яких видів рослинної сировини та з яких потенційно можна отримувати якісні волокнисті напівфабрикати [2].

Основними перевагами щодо використання того чи іншого виду недеревної сировини вважається стабільність джерела сировини та перспективністю його використання. До таких можна віднести добре вивчені відходи зернових та олійних культур, стебла кукурудзи, тростина, які мають потенціал для заміни деревної целюлози, оскільки вони вважаються доступними джерелами целюлозного волокна. Ця сировина структурно схожа на інші

рослинні волокна, що використовуються у виробництві паперу або картону, з погляду складу, фізичних та хімічних характеристик.

Зосередження людей на ефективності свого здоров'я призводить до більшої потреби у природніх продуктах харчування, до яких відноситься топінамбур або «земляна груша». Бульби топінамбура давно відомі своїми корисними властивостями і їх промислово вирощують для отримання з них цінних компонентів, наприклад, інуліну. Відповідно відходами топінамбура є наземна частина у вигляді стебел, які часто не мають застосування [4].

Топінамбур росте кущем із кількох стебел. Стебло – округлої форми, напівдерев'янисте, висотою 2 – 4 м, всередині заповнено губчатою паренхімою [5]. Особливістю топінамбура є те, що на одному місці його можна вирощувати протягом 5 – 8 років. Він дає багатий урожай надземної маси та бульбоплодів. Треба відмітити, що стебло топінамбура, в основному, розглядають як цінне біопаливо другого покоління (в основному етанолу і біогазу, а також бутанолу і біоводню) оскільки з гектара можна зібрати 3 – 7 т сухої маси за вологості 20 % або 36 – 49 т/г зеленої маси [5, 6]. Однак вивченню можливості використання стебел топінамбура для отримання різних видів волокнистих напівфабрикатів приділяється ще не достатньо уваги. Тому метою даної роботи було отримання волокнистих напівфабрикатів лужним способом із стебел топінамбура, які є відходами.

Для перероблення стебел обрано натронний спосіб. У целюлозно-паперовій промисловості натронний процес є одним із найбільш поширених для отримання целюлози з використанням хімікатів із сільськогосподарських волокнистих відходів, що обумовлено не тільки екологічністю процесу. Із-за високого вмісту кремнієвих сполук у волокнах, процес отримання якісної целюлози утруднюється, що є однією із основних проблем під час перероблення більшості відходів сільського господарства. Розчинення цих компонентів можливе лише у лужному середовищі [2].

Вибір режиму проведення делігніфікації базується на описаних у літературі дослідженнях, згідно яких показано, що за підвищеного тиску тривалість перероблення відходів натронним способом складає до 20 хв, що суттєво знижує затрати на отримання ВНФ [1]. Як сировину використовували стебла топінамбура, які були заготовлені восени у Київській обл. і досягали 2-х метрів. Для варіння їх подрібнювали до січки розміром 3 – 4 см. Зовнішній вигляд стебел топінамбура і січки з нього показано на рис. 1.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд стебел топінамбура (а) і січки з нього (б)

Делігніфікацію січки проводили натронним щолоком за витрат активного лугу 16 % в од. Na_2O від маси абс. сух сировини в лабораторних сталевих автоклавах, які опускали у наперед нагріту гліцеринову баню до 80 °С. Далі проводили підйом температури від 80 °С до 120 °С впродовж 30 хв. За кінцевої температури, варіння січки продовжували ще 15 хв, 30 хв та 45 хв. Температурний режим варіння наведено на рис. 2.

Після закінчення визначеного часу напівфабрикати вивантажували на сито для промивання від відпрацьованого розчину. Після варіння отримані ВНФ не розділялися на окремі волокна під тиском води, крім паренхіми (внутрішньої частини стебла). Здерев'яніла частина стебла після варіння зберігала форму січки, тому її піддавали механічному розділенню на окремі волокна (рис. 3 а), б), в)).

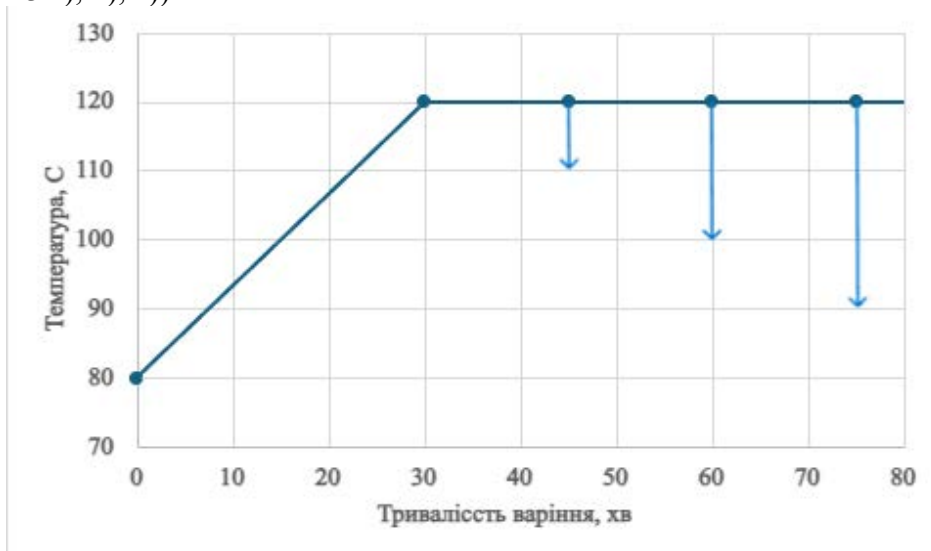


Рисунок 2. Температурний графік варіння січки топінамбура

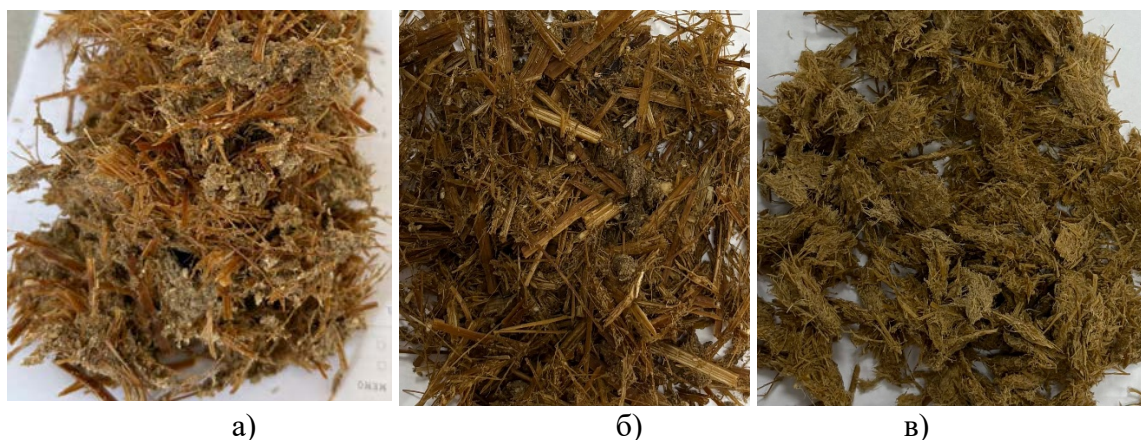


Рисунок 3. Отримані волокнисті напівфабрикати після промивання і віджимання топінамбура: а) 15 хвилин; б) 30 хвилин; в) 45 хвилин

В отриманих ВНФ визначали коефіцієнт сухості, який використовували для розрахунку виходу, масову частку лігніну згідно стандартних методик [2]. Для визначення фізико-механічних показників, отримані ВНФ розмелювали до досягнення ступеня млива 60 °ШР, виготовляли відливки масою 75 г/м² на ЛА-1 (рис. 4).

Для отримання співставних значень відливки витримували у поліетиленових файлах, а потім піддавали їх випробуванням опору роздиранню, міцності на злом під час багаторазових перегинів та розривному зусиллю згідно стандартних методик [2]. Результати досліджень якості отриманих ВНФ наведено у табл. 1.

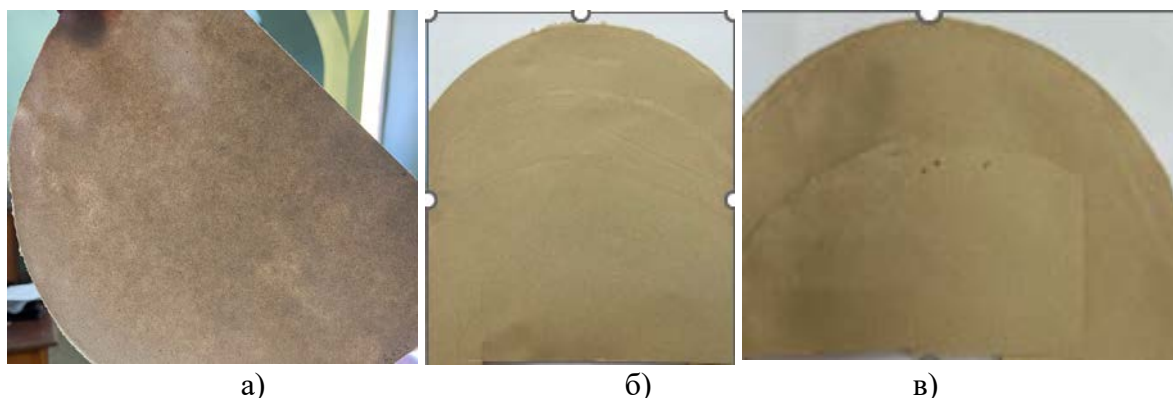


Рисунок 4. Зовнішній вигляд зразків відливок волокнистих напівфабрикатів, отриманих із стебел топінамбура за тривалості варіння: а) 15 хв; б) 30 хв; в) 45 хв

Таблиця 1. Показники якості волокнистих напівфабрикатів, отриманих із стебла топінамбура.

Умови варіння	Вихід, %	Масова частка лігніну, %	Фізико-механічні показники		
			Розривна довжина, м	Опір роздиранню, мН	Міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п.
15 хв + АХ 0,1 % (антрахінону)	42,3	7,5	4250	333	9
30 хв	55,7	10,4	4440	275	5
45 хв	51,8	6,3	4510	392	11

Як видно із даних табл. 1, із стебел топінамбура отримано волокнисті напівфабрикати підвищеного виходу. Додавання антрахінону під час варіння січки навіть за нетривалого варіння дозволяє отримувати напівфабрикат співставний за ступенем делігніфікації і показниками міцності з тим, який отримано за подовженої тривалості. Показники міцності отриманих напівфабрикатів достатньо високі за виключенням показника міцності на злом під час багаторазових перегинів та повністю узгоджуються з літературними даними для недеревної сировини.

Для кожного варіанту (різної тривалості варіння) для ВНФ зроблено мікрофотографії з використанням світлового мікроскопа, які показано на рис. 5.

Як видно із фото (рис. 5), ВНФ містять луб'яні волокна різного розміру, які є найбільш цінними. Також після варіння 15 хв спостерігається значна частина паренхімних клітин та сітчастих судин, які притаманні у більшій мірі серцевині, однак, зі збільшенням тривалості варіння їх кількість зменшується, що пояснюється частковим їх переварюванням і втратою під час промивання. Треба відмітити наявність деяких лігніфікованих волокон і лігніну у масі, що частково пояснює менші показники міцності отриманих ВНФ.

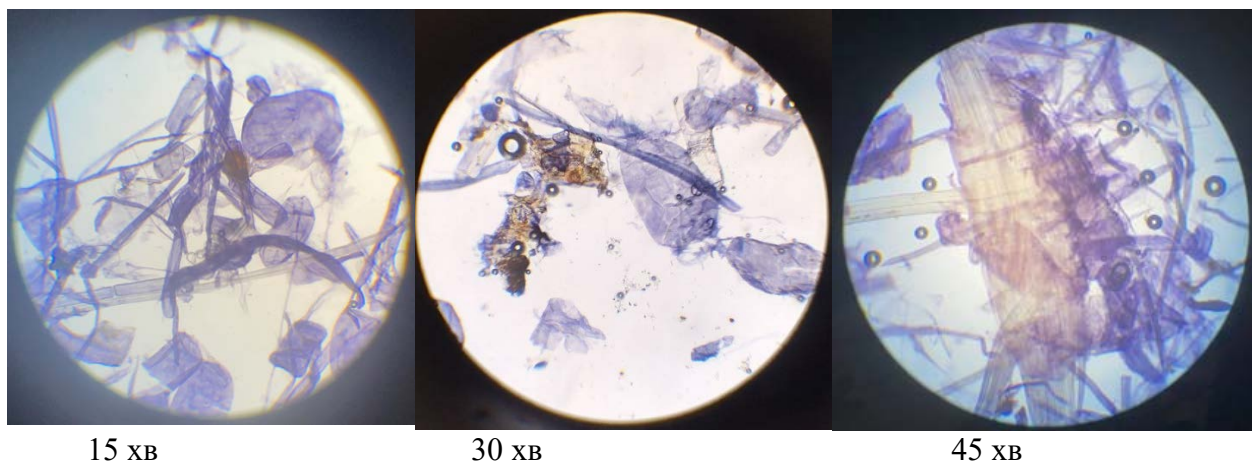


Рисунок 5. Мікрофотографії зразків невибілених волокнистих напівфабрикатів із стебел топінамбура отриманих за витрат активного лугу 16 % в од. Na_2O за тривалості варіння 15, 30 та 45 хв (не розмелених, світловий мікроскоп зб. 8X10)

Висновок

У результаті дослідження показано, що стебла топінамбура за нетривалого варіння від 15 до 45 хв і низької температури 120 °С доречно переробляти з отриманням волокнистих напівфабрикатів підвищеного виходу із задовільними показниками міцності, придатних для виробництва картону у композиції з іншими ВНФ.

Література

1. Limenew Abate Worku, Archana Bachheti, Rakesh Kumar Bachheti, Cristiano E. Rodrigues Reis, Anuj Kumar Chandel. Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication. <https://www.mdpi.com/2077-0375/13/2/228>
2. Технологія недеревних волокнистих напівфабрикатів: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» / Р.І. Черьопкіна, І.В. Трембус, І.М. Дейкун В.А., Барбаш В.А.; – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 229 с.
3. Abd El-Sayed, E.S.; El-Sakhawy, M.; El-Sakhawy, M.A.-M. Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* **2020**, *35*, 215 – 230. https://www.researchgate.net/publication/339097245_Nonwood_fibers_as_raw_material_for_pulp_and_paper_industry
4. Пую В.Л. Господарська продуктивність рослин топінамбура сортів подільський 94 і львівський. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільськогосподарські науки*. Випуск 26. – 2017. – С. 124 – 135. <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/252027>
5. Топінамбур: вирощування та користь. <https://soncesad.com/statti/ovochi/kartoplya/topinambur-viroshhuvannya-ta-korist.html>
6. R. Travaini, J. Martín-Juárez, A. Lorenzo Hernando, S. Bolado-Rodríguez, Bioresource Potential of Jerusalem Artichoke Stem for Cellulose Production *Eurasian Chemico-Technological Journal* 21 (2019) 173-182 *Technol.* 199 (2016) 2–12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26409859/>

**JERUSALEM ARTICHOKE WASTE IN THE FORM OF STALKS
FOR FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS**

Romaniia CHEROPKINA

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Beresteiskyi ave., 37, 3703056, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9022-1576>

Vitalii KISLY

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Beresteiskyi ave., 37, 3703056, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-1714-6655>

Kirill NELIDOV

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Beresteiskyi ave., 37, 3703056, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0001-0135-6338>

Maxim NAUMENKO

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Beresteiskyi ave., 37, 3703056, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0004-1975-9479>

Abstract

The delignification of Jerusalem artichoke stems was carried out at an active alkali consumption of 16% in units of Na₂O from the mass of abs. dry raw materials at a temperature of 120 °C for 15 min, 30 min and 45 min with preliminary soaking for 30 min. The production of fibrous semi-finished products with increased yield from Jerusalem artichoke stems by an alkaline method suitable for the production of cardboard in a composition with other VNFs was shown.

Key words: jerusalem artichoke, chopping, soda cooking, delignification.