

УДК 676.2.+620.3

БАРБАШ В. А. *, ЯКИМЕНКО О. С., БЕРЕЗОВСЬКИЙ Г. Г., ЯЩЕНКО О. В.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

ВПЛИВ СОНЯШНИКОВОЇ НАНОЦЕЛЮЛОЗИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ КАРТОНУ ТАРНОГО ВОЛОГОСТІЙКОГО

Визначено хімічний склад і морфологічну структуру деревної частини і паренхіми стебел соняшника. Наведено зміни значень виходу, залишкового вмісту лігніну і мінеральних речовин у целюлозі в процесі термохімічної обробки стебел соняшника екстракцією лугом та пероцтовим розчином. Досліджено вплив технологічних параметрів процесу гідролізу органосольвентної соняшnikової целюлози на показники якості наноцелюлози (НЦ). Встановлено, що частинки соняшnikової НЦ мають поперечний розмір 6–20 нм, довжину в десятки мікрометрів, суспензія НЦ має густину до 1,51 г/см³, а плівки НЦ мають міцність на розрив до 65,4 МПа, прозорість до 83 %, індекс кристалічності до 78,4 % та індекс латерального порядку до 1,83. Досліджено вплив соняшnikової НЦ на показники якості картону тарного вологостійкого. Встановлено, що збільшення витрата НЦ в межах від 1 до 5 кг/т картону позитивно впливає на показники його якості, зокрема на механічну міцність і водостійкість. Використання соняшnikової НЦ у складі вологостійкого картону дозволяє замінити 50 % екологічно шкідливих синтетичних хімічних допоміжних речовин, які використовуються у виробництві паперу і картону.

Ключові слова: *стебло і паренхіма соняшника, екологічна целюлоза, наноцелюлоза, вологостійкий картон, ресурсоефективність*

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2024.319131

*Corresponding author: v.barbash@kpi.ua

Received 26 November 2024; Accepted 05 December 2024

Постановка проблеми. У контексті стійкого розвитку та збереження лісових ресурсів актуальною проблемою для України є розробка екологічно безпечних технологій виробництва целюлозовмісних матеріалів із недеревної рослинної сировини (НДРС). НДРС на відміну від деревини швидко ростуть і не потребують тривалого часу для досягнення зрілості. До таких НДРС, які щорічно можуть забезпечити значну кількість біомаси, відноситься соняшник. Україна є одним з провідних виробників соняшника у світі, щорічно вирощуючи мільйони тонн цієї культури. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році було зібрано близько 11,3 мільйонів тонн соняшника з утворенням значних обсягів стебел як побічного продукту [1]. На жаль, велика частина цих стебел залишається невикористаною, що створює додаткове навантаження на навколишнє середовище. Тому використання стебел соняшника для виробництва целюлози сприятиме зменшенню обсягів агропромислових відходів, збереженню лісових ресурсів та покращенню екологічного стану довкілля. Світове виробництво паперу і картону щорічне росте на 1.1% і до 2030 року досягне 482 млн. т [2], незважаючи на зниження попиту на паперову пресу та збільшення обсягу електронного документообігу. При цьому зберігається стала тенденція до збільшення обсягів виробництва пакувальних картонно-паперових матеріалів, зокрема картону тарного вологостійкого. Останній призначений для виробництва гофрокартону та виробів з нього для пакування охолодженої і замороженої продукції. У технології виробництва картону тарного вологостійкого використовуються хімічні допоміжні речовини (ХДР), що, як правило, синтезуються із вичерпних джерел енергії (нафти, газу, вугілля), які забруднюють довкілля і шкодять здоров'ю людей. Альтернативою екологічно шкідливим ХДР є природні біорозкладні матеріали, до яких відноситься наноцелюлоза (НЦ). НЦ має унікальні властивості [3] і великий потенціал застосування у різних галузях промисловості, включаючи медицину, електроніку, виробництво композитних матеріалів та упаковки [4-6]. Завдяки широкому спектру застосувань та унікальним властивостям світовий ринок НЦ зростає швидкими темпами і досягне мільярдів доларів до кінця десятиліття [7]. Тому розробка технологій одержання із НДРС, зокрема із стебел соняшника, целюлози і НЦ та використання НЦ у виробництві масових видів картонно-паперової продукції є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз попередніх досліджень. За даними досліджень, НДРС може забезпечити до 20 тонн біомаси з одного гектара, що є більш ефективним використанням землі у порівнянні з деревиною [8]. Щорічний приріст споживання НДРС для виробництва волокнистих напівфабрикатів (ВНФ) перевищує приріст споживання деревини, що обумовлено обмеженими ресурсами лісових масивів, швидким зростанням і високою врожайністю НДРС, можливістю використання аграрних відходів для виробництва целюлози і збільшення попиту на екологічно чисті матеріали. В роботах [9-11] показано позитивний вплив НЦ на показники якості паперу і картону з використанням НЦ із деревини. Попередні наші результати показали можливість отримання НЦ із стебел злакових і волокон технічних культур та її використання для покращення показників якості різних видів картонно-паперової продукції [12-15]. Але невирішеною частиною науково-практичної проблеми залишається відсутність даних про одержання целюлози і НЦ із стебел соняшника та вплив соняшникової НЦ на характеристики картону тарного вологостійкого.

Метою статті є висвітлення результатів досліджень процесів одержання із стебел соняшника целюлози і наноцелюлози та вплив наноцелюлози на показники якості вологостійкого картону.

Для досягнення вказаної мети поставлено **наступні завдання:**

- дослідити морфологічну будову та визначити хімічний склад стебел і паренхіми соняшника;
- одержати целюлозу із стебел соняшнику екологічно безпечним органосольвентним способом;
- дослідити вплив умов процесу гідролізу органосольвентної целюлози розчинами сульфатної кислоти різної концентрації на показники якості соняшникової наноцелюлози;
- виявити вплив наноцелюлози на показники якості вологостійкого картону та провести їх порівняльний аналіз.

Об'єкти та методи дослідження. Сухі стебла соняшнику із Київської області врожаю 2023 року звільняли від залишків листя і трави, розділяли на дві частини вздовж стебла на деревну частину і паренхіму – внутрішню білу пористу серцевинну частину. Подрібнена деревна частина і паренхіма стебла соняшника (СН) розміром 2–5 мм зберігалася в ексікаторах для подальшого аналізу хімічного складу та отримання з них целюлози. Для визначення хімічного складу рослинної сировини та показників якості целюлози, НЦ і картону тарного вологостійкого використовували стандартні хімічні, фізико-хімічні та фізико-механічні методи аналізу [16, 17]. Усі хімічні речовини - гідроксид натрію, крижана оцтова кислота, пероксид водню та сульфатна кислота – були хімічної якості і придбані у ТОВ «Хімреактив», а ХДР для виготовлення зразків картону надано одним із підприємств галузі.

Одержання целюлози із стебел соняшника здійснювалося у дві стадії за методиками, детально описаними у попередніх публікаціях [14, 15]. Для одержання НЦ проводили гідроліз органосольвентної соняшникової целюлози розчином сульфатної кислоти концентрацією 45%, 50% і 60% за температури 60°C впродовж 60 хв з подальшим промиванням НЦ дистильованою водою методом центрифугування в лабораторній центрифугі за 4000 об/хв для видалення залишків кислоти. Отриману НЦ обробляли ультразвуком за 22 кГц з використанням ультразвукового диспергатора УЗДН-2т впродовж однієї години і суспензію НЦ зберігали за кімнатної температури в закритих контейнерах для використання в подальших дослідженнях.

Морфологічні зміни в структурі соняшникових целюлозовмісних матеріалів досліджено за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ), яку проводили на мікроскопі РЕМ-106І (SELMІ, Україна). Для визначення топографічних характеристик зразків наноцелюлози використовували атомно-силову мікроскопію. Вимірювання проводили за допомогою кремнієвого кантилівера, що працює в контактному режимі на приладі Solver Pro М (NT-MDT). Швидкість та площа сканування становили 0,6 ліній/с та 2 × 2 мкм² відповідно. Прозорість НЦ плівок визначали на основі електронних спектрів поглинання, які реєструвалися в області від 200 до 1100 нм на двопробневному спектрофотометрі 4802 (UNICO, США) з роздільною здатністю 1 нм. Щільність НЦ плівок визначали відповідно до ISO 534, а міцність на розрив і подовження визначали для смужок НЦ плівок шириною 10 ± 0,2 мм і довжиною 25 ± 1 мм на розривній машині РМБ-30-2М.

Для виготовлення відливок зразків картону тарного вологостійкого використовували макулатуру марки МС-5Б-2, у волокнисту масу якої перед відливанням на листовідливного апарату ЛА-1 добавляли наступні ХДР: суспензію алкіл кетен димеру (АКД), соняшникову НЦ, коагулянт і барвник. Витрата АКД становила 0, 10, 15 і 20 кг/т, НЦ – 0, 2, 4, 6 і 10 кг/т, коагулянту – 4,9 кг/т, барвника – 1,6 кг/т картону. Додатково на поверхню відливок масою 160±3 г/м² наносилася суспензія модифікованого крохмального клею з витратою 25 кг/т картону. Значення показників якості зразків картону визначали за контрольованої температури (23 ± 1 °C) і вологості (50 ± 2%) згідно із вимогами відповідних стандартів. Абсолютний опір продавлювання

зразків картону вимірювали відповідно до ISO 2759, зусилля стиснення на короткій відстані у поперечному напрямі (SCT) – за ISO 9895, поверхневу вбирність води під час однобічного змочування для поверхневого і нижнього шару – за ДСТУ EN ISO 535. Для визначення кожного з показників якості картону тестувалося по п'ять зразків та розраховувалися їх середні значення.

Результати та їх обговорення. Аналіз фракційного складу стебел соняшника (СН) свідчить про те, що деревна частина СН становить 87,4 %, а паренхіма – 12,6 %. Хімічний склад стебел СН у порівнянні з хімічним складом найбільш розповсюджених представників рослинної сировини наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад рослинної сировини, % від маси абсолютно сухої сировини

Сировина	Целю- лоза	Лігнін	Екстракція у		Пенто- зани	СЖВ*	Зола
			H ₂ O	1% NaOH			
Деревна частина СН	41,2	20,7	12,2	35,6	16,7	3,8	3,4
Паренхіма СН	40,3	18,8	18,5	43,4	29,1	5,2	11,2
Стебла СН [18]	40,6- 41,8	20,1- 26,1	5,6 - 4,8	35,2- 36,6	19,8- 21,3	2,1 - 3,7	3,0 – 6,8
Стебла кукурудзи [18]	41,6- 42,6	17,9- 18,0	10,1- 11,8	18,7- 19,6	25,6- 27,7	3,0 - 3,5	3,9 – 4,7
Сосна [18]	47,0	27,5	6,7	19,4	10,4	3,4	0,2
Береза [18]	41,0	21,0	2,2	11,2	28,0	1,8	0,5

*СЖВ – смоли, жири, воски

Як видно з даних табл. 1, вміст основного компонента рослинної сировини - целюлози у деревній частині стебел СН знаходиться в таких же кількостях, як у стеблах кукурудзи і берези. Вміст другого за кількістю компонента - лігніну у деревній частині СН також близький до значень вмісту лігніну у стеблах кукурудзи і берези та є менший, ніж у сосні. Вміст речовин, що екстрагуються із деревної частини СН гарячою водою і 1% розчином NaOH, є вищим у порівнянні з іншими, наведеними у табл. 1, представниками рослинної сировини, що апріорі свідчить про можливість отримання меншого виходу ВНФ із стебел СН за однакового залишкового вмісту лігніну. Вміст золи у деревній частині та особливо в паренхімі СН є вищим, ніж у деревині, що вказує на потребу проведення додаткової термохімічної обробки стебел для отримання целюлози, придатної для подальшого хімічного перероблення.

На рис. 1 показано результати мікроскопічного дослідження складових стебел соняшнику без обробки хімікатами. Зображення деревної частини СН (рис. 1а) демонструє природну волокнисту структуру стебел, яка характерна для інших представників рослинної сировини [13, 14]. При цьому волокна мають добре виражені межі, що свідчить про природну організацію волокнистої структури в рослині. Мікроскопічна будова паренхіми СН має менш виражену структуру волокон, наявність коротких паренхімних клітин і велику їх пористість (рис. 1б), що апріорі свідчить про гірші їх механічні властивості у порівнянні із деревною частиною стебла СН.

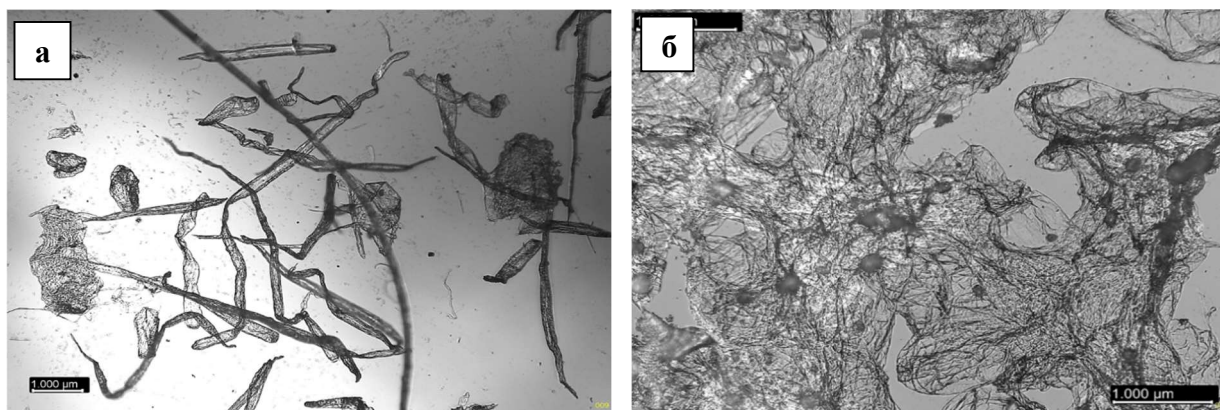
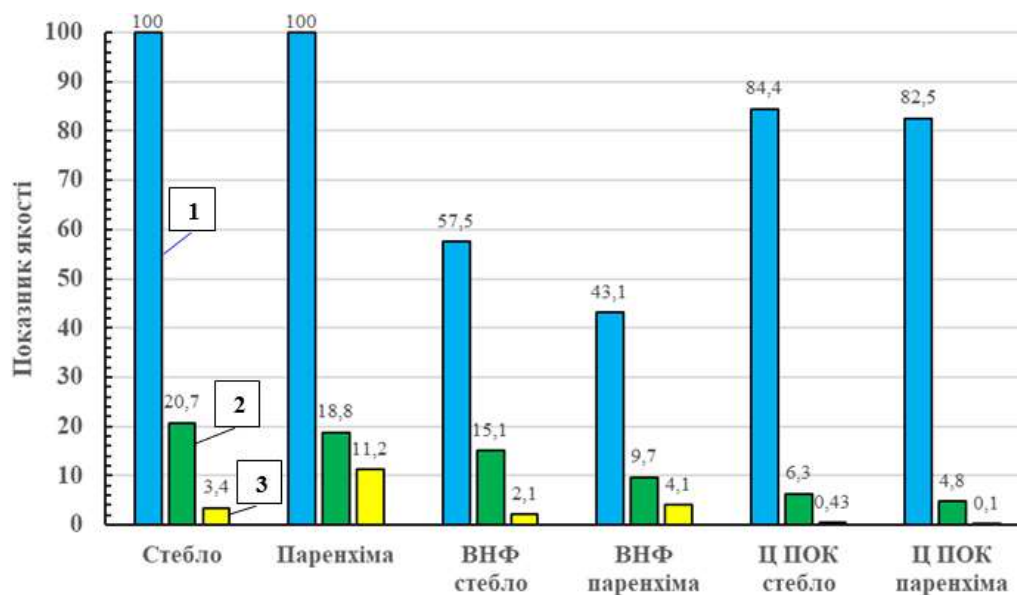


Рис. 1 – Мікроскопічна будова деревної частини (а) і паренхіми (б) стебел соняшнику

Результати термохімічної обробки деревної частини і паренхіми стебел соняшнику в залежності від стадії обробки наведено на рис. 2.



1 – вихід, %; 2 – лігнін, %; 3 – зола, %

Рис. 2 – Залежність показників якості сировини від стадії обробки

Як видно із наведених на рис. 2 даних, проведення лужної екстракції та варіння в середовищі пероцтової кислоти дозволяє отримати волокнистий напівфабрикат (ВНФ) і органосольвентну целюлозу (ПОК) з мінімальним залишковим вмістом лігніну та мінеральних речовин. Отримана таким способом органосольвентна соняшникова целюлоза (ОСЦ) придатна для подальшої хімічної переробки, зокрема для одержання з неї наноцелюлози.

Проведені дослідження процесу гідролізу ОСЦ показали, що екстрагована соняшникова НЦ мала вигляд прозорої, однорідної, стабільної у часі суспензії. Стабільність прозорої гелеподібної суспензії наноцелюлози зберігається при тривалому зберіганні за кімнатної температури впродовж кількох місяців. Така стабільна форма суспензії соняшникової НЦ пояснюється наявністю на її поверхні заряджених сульфатних груп, які утворюються при взаємодії целюлози з сульфатною кислотою в результаті реакції естерифікації. Залежність показників якості плівок соняшникової НЦ від концентрації кислоти в процесі гідролізу наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність показників якості плівок соняшникової наноцелюлози від концентрації кислоти в процесі гідролізу

Концентрація H ₂ SO ₄ , %	Щільність, г/см ³	Подовження, %	Міцність на розрив, МПа
45	1,24	3,8	47,8
50	1,35	2,4	56,2
55	1,51	1,2	65,4

Як видно з наведених даних, збільшення концентрації сульфатної кислоти за постійної температури та тривалості гідролізу призводить до збільшення щільності і міцності на розрив та до зменшення значень подовження наноцелюлозних плівок. Така залежність пояснюється прискоренням процесу гідролізу ОСЦ, що призводить до інтенсифікації руйнування 1-4 глікозидних зв'язків між глюкопіранозними ланками макромолекули целюлози як під дією іонів гідроксонію, так і під дією підвищеної температури. Збільшення концентрації сульфатної кислоти в процесі гідролізу сприяє подальшому вимиванню аморфних ділянок целюлози, що підтверджується збільшенням індексу кристалічності наноцелюлози за даними XRD та зменшенням розмірів соняшникових наночастинок. Обробкою даних XRD встановлено, що індекс кристалічності соняшникових НЦ плівок становить 78,4 %, а за даними інфрачервоної спектроскопії з Фур'є перетворенням доведено, що індекс латерального порядку становить 1,83. Отримані значення вказаних

показників відповідають значенням індексу кристалічності та індексу латерального порядку для НЦ із інших представників рослинної сировини [13, 19, 20]. Топографічні характеристики зразків соняшникової НЦ за результатами атомно-силової мікроскопії наведено на рис. 3.

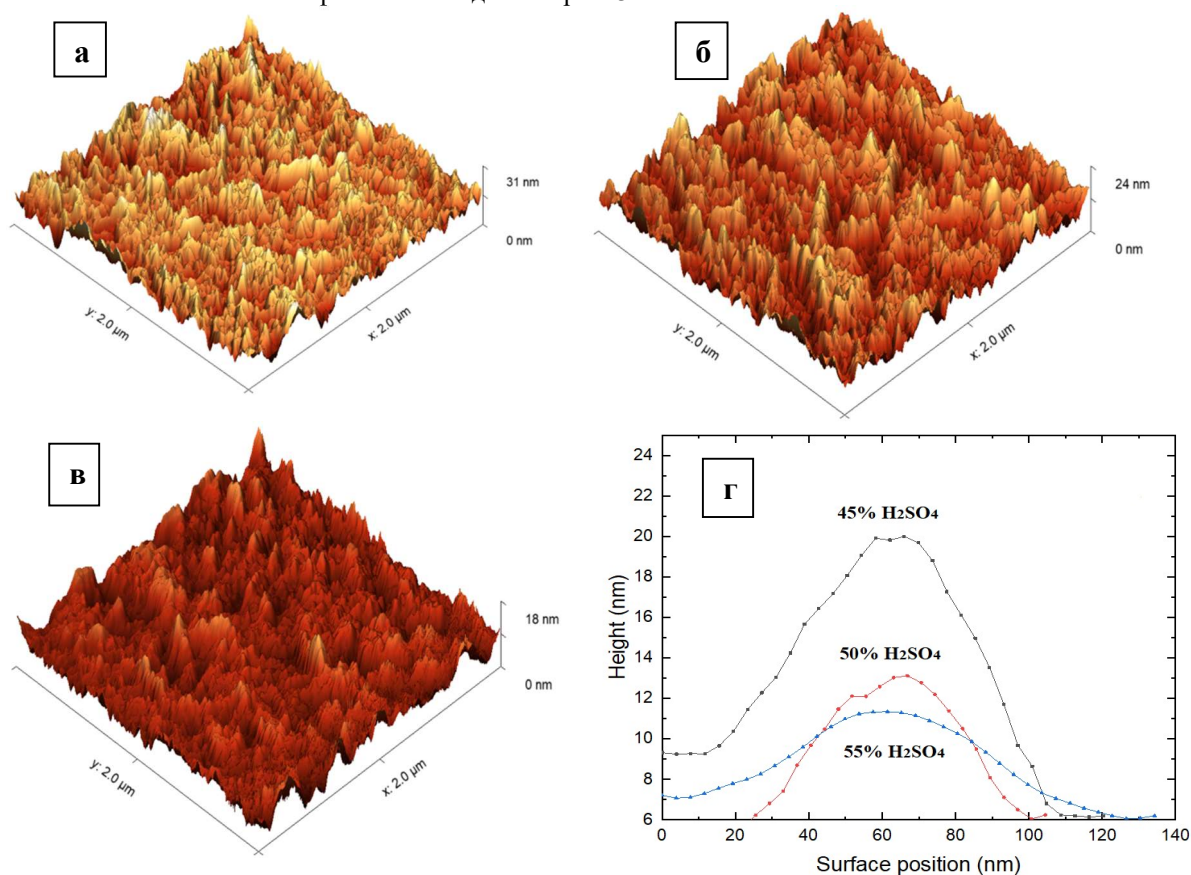
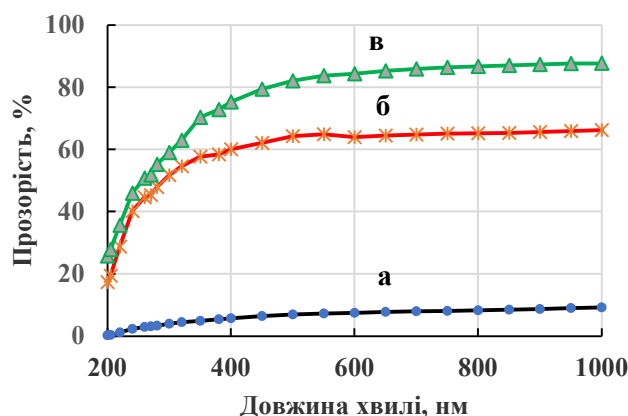


Рис. 3 – 3D-зображення поверхні плівок соняшникових НЦ, отриманої гідролізом H₂SO₄ різної концентрації: 45% (а), 50% (б), 55% (в), та амплітуди поперечного перерізу отриманих НЦ плівок (г)

Як видно із наведених на рис. 3 даних, отримані за різних умов гідролізу частинки соняшникових НЦ мають такі поперечні розміри: 9–20 нм для гідролізу розчином 45 % сульфатної кислоти; 7–13 нм для гідролізу розчином 50 % і 5–11 нм для гідролізу розчином 55 %. Зменшення розмірів наночастинок соняшникової НЦ призводить до підвищення прозорості отриманих наноцелюлозних плівок. Залежність прозорості наноцелюлозних плівок від умов процесу гідролізу органосольвентної соняшникової целюлози наведено на рис. 4. Отримана суспензія соняшникової НЦ мала високу прозорість до 87,6 % за довжиною хвилі 600 нм на електронних спектрах поглинання, що свідчить про те, що кислотний гідроліз та ультразвукова обробка ОСЦ призводить до розчинення аморфних областей макромолекули целюлози з утворенням гомогенних наноцелюлозних плівок [19].

Таким чином, в результаті процесу гідролізу ОСЦ була отримана стабільна суспензія НЦ з частинками діаметром 5–20 нм, яка мала високі механічні властивості: щільність НЦ плівок становить до 1,52 г/см³; прозорість — до 87,6 %; міцність на розрив — до 65 МПа. Отримана соняшникові НЦ використовувалася в композиції одного із масових видів картонно-паперової продукції – картону тарного вологостійкого.

В табл.3 наведено результати визначення показників якості картону за різних витрат алкіл кетен димеру (АКД) у волокнисту масу і модифікованого крохмалю марки КМП на його поверхню. Із наведених в табл. 3 даних видно, що досягти таких необхідних значень показників якості картону, як опір продавлювання і поверхнева вбирність води під час однобічного змочування для поверхневого шару (Кобб₁₈₀₀) і нижнього шару (Кобб₆₀), можна за витрат 15 кг/т в масу картону і додавання 25 кг/т модифікованого крохмалю марки КМП на поверхню зразків картону тарного вологостійкого.



а – гідроліз H_2SO_4 концентрацією 45 %;
б – гідроліз H_2SO_4 концентрацією 50 %;
в – гідроліз H_2SO_4 концентрацією 55 %

Рис. 4 – Прозорості наноцелюлозних плівок, отриманих за різних режимів гідролізу

Таблиця 3 – Показники якості картону тарного вологостійкого за різних витрат ХДР

№ зразка	Витрата, кг/т		Опір продавлювання, КПа	Поверхнева вбирність води	
	АКД в масу	КМП на поверхню		Кобб ₁₈₀₀ , г/м ²	Кобб ₆₀ , г/м ²
1	0	0	230	284	190
2	10	0	270	126	65
3	15	0	290	97	58
4	20	0	327	79	50
11	10	25	306	87	29
12	15	25	330	74	26
13	20	25	343	65	23
Вимоги стандарту			не менше 320	не більше 100	не більше 45

В роботі також досліджено можливість заміни 50 % екологічно шкідливої ХДР АКД на отриману нами соняшникову НЦ, яку додавали за різних витрат у волокнисту масу. На рис. 5 наведено залежності опору продавлювання і поверхневої вбирності води під час однобічного змочування для поверхневого шару (Кобб₁₈₀₀) і нижнього шару (Кобб₆₀) від витрат НЦ у волокнисту масу (за витрати АКД 10 кг/т в масу і КМП 25 кг/т на поверхню картону, відповідно).

Отримані дані свідчать про те, що додавання соняшникової НЦ у волокнисту масу підвищує механічну міцність і вологостійкість картону. При цьому додавання біорозкладної соняшникової НЦ у волокнисту масу з витратами 4 кг/т від маси картону дозволяє отримати значення показників, які задовольняють вимогам стандарту підприємства, і зменшити витрати АКД на 50 %, що сприятиме покращенню стану довкілля і здоров'я людей.

Висновки

1. Термохімічна обробка стебел соняшника лужною екстракцією та органосольвентним варінням дозволяє екологічно більш безпечним способом отримати целюлозу з мінімальним залишковим вмістом лігніну та мінеральних речовин, що підтверджує ресурсоефективність та екологічність даного процесу за рахунок збереження більш дорогої деревини і свідчить про придатність соняшникової целюлози для подальшої хімічної обробки, зокрема для одержання з неї наноцелюлози.

2. В результаті процесу гідролізу органосольвентної целюлози екстраговано стабільну у часі суспензію НЦ із частинками діаметром 6–20 нм, з високими механічними властивостями: щільністю НЦ плівок до 1,52 г/см³; прозорістю — до 87,6 %; міцністю на розрив — до 65 МПа, індексом кристалічності до 78,4 % та індексом латерального порядку до 1,83.

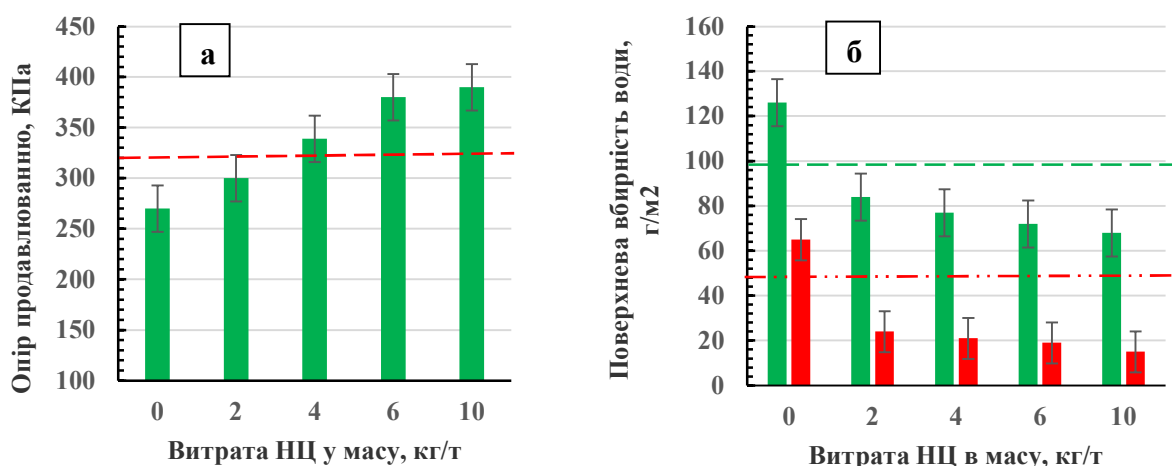


Рис. 5 – Залежності опору продавлювання (а) і поверхневої вбирності води під час однобічного змочування (б) для поверхневого шару (I - Кобб₁₈₀₀) і нижнього шару (II - Кобб₆₀) від витрат НЦ.
Горизонтальні лінії – вимоги стандарту

3. Показано, що використання соняшникової НЦ з витратою до 4 кг/т від маси призводить до досягнення значень фізико-механічних показників якості картону тарного вологостійкого, які задовольняють вимогам стандарту.

4. Підтверджена можливість заміни 50 % екологічно шкідливого синтетичного АКД на соняшникову НЦ, що відповідає економічному та екологічному складникам сталого розвитку.

Перспективи подальших досліджень. Перспективою подальших досліджень може бути використання наноцелюлози зі стебел соняшника для виробництва інших масових видів паперу та картону.

Список використаної літератури

1. Державна служба статистики України. Сільське господарство України 2022. [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: https://csrv2.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/09/zb_rosl_2022.pdf.
2. DNB [Електронний ресурс] // Pulp & Paper. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://s201.q4cdn.com/761980458/files/doc_news/2023/09/Apresentacao/2023-09-13-DNB-Pulp-Paper.pdf.
3. Yu, S., Sun, J., Shi, Y., Wang, Q., Wu, J., Liu, J. Nanocellulose from various biomass wastes: Its preparation and potential usages towards the high value-added products // *Environmental Science and Ecotechnology*. 2021 5. 100077. doi.org/10.1016/j.es.2020.100077
4. Li A., Xu D., Luo L., Zhou Y., Yan W. et al. Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products // *Nanotechnology Reviews*. 10. P. 264–281. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0023>
5. Reshmy R., Philip E., Paul S. et al. Nanocellulose-based products for sustainable applications: recent trends and possibilities // *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09551-z>
6. Thakur V., Guleria A., Kumar S., Sharma S., Singh K. Recent advances in nanocellulose processing, functionalization and applications: a review // *Materials Advances*. 2021. 2(6). P. 1872–1895. doi:10.1039/D1MA00049G
7. Persistence Market Research. Nanocellulose Market. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/nanocelulose-market.asp>.
8. Baskakov, S.A., et al. Cellulose from Annual Plants and Its Use for the Production of the Films Hydrophobized with Tetrafluoroethylene Telomers // *Molecules*. 2022. 27. 6002. MDPI. doi:10.3390/molecules27186002
9. Brodin F., Gregersen Q., Syverud K. Cellulose nanofibrils: Challenges and possibilities as a paper additive or coating material – A review. // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2014. 29(1). P. 156 – 166.
10. Bárta J., Hájková K., Sikora A., Jurczykova T., Popelkova D. et al. Effect of a Nanocellulose Addition on the Mechanical Properties of Paper. // *Polymers*. 2024. 16. P. 73. doi:10.3390/polym16010073

11. Worku L., Bachheti A., Bachheti R., Rodrigues C., Chandel A. Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication // *Membranes (Basel)*. 2023. 13(2). P. 228. doi:10.3390/membranes13020228
12. Barbash, V., Yaschenko, O. Preparation, Properties and Use of Nanocellulose from Non-Wood Plant Materials // *IntechOpen*. doi:10.5772/intechopen.94272
13. Barbash V., Yashchenko O., Yakymenko O., Zakharko R., Myshak V. Preparation of hemp nanocellulose and its application for production of paper for automatic food packaging// *Cellulose*. 2022. 29. P. 8305–8317 <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04773-6>
14. Барбаш В., Якименко О., Ященко О. Вплив конопляної наноцелюлози на показники якості паперу для пакування харчових продуктів. // *Питання хімії та хімічної технології*. 2023. 6, С. 5-12.
15. Барбаш В., Якименко С., Березовський Г., Ященко О. Вплив очеретяної наноцелюлози на показники якості паперу-основи для шпалер. // *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2024. 1. С. 42–51. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2024.300984>
16. TAPPI Test Methods. – Atlanta, Georgia: Tappi Press. – 2004. – 187 p.
17. Шевчик В., Хаджинова С. Методи розрахунку механічних властивостей гофрованого картону. // *Упаковка*. 2013. 1. С. 20-25.
18. Барбаш В., Трембус І., Плоскосос В., Швидкий А. Лужно-сульфітно-спиртова делігніфікація стебел соняшнику і свербіги // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2014. 1 (12). С. 80-83.
19. Rhim J., Reddy J., Luo X. Isolation of cellulose nanocrystals from onion skin and their utilization for the preparation of agar-based bio-nanocomposites films // *Cellulose*. 2014. 22. P. 407–420. doi:10.1007/s10570-014-0517-7
20. Fatriasari W., Syafii W., Wistara N., Syamsu K., Prasetya B., Anita S. H., Risanto L. Fiber Disruption of Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper*) by Combined Fungal and Microwave Pretreatment // *BIOTROPIA*. 2016. 22(2). P. 81–94. <https://doi.org/10.11598/btb.2015.22.2.363>

Valerii Barbash, Olha Yakymenko, Hlib Berezovskyi, Olga Yaschenko

THE INFLUENCE OF SUNFLOWER NANOCELLULOSE ON THE QUALITY INDICATORS OF MOISTURE-RESISTANT PACKAGING CARDBOARD

There is a steady trend in the world to increase the production of packaging cardboard and paper materials, in particular moisture-resistant container cardboard, which is intended for packaging chilled and frozen products. At the same time, the technology for producing moisture-resistant container cardboard uses chemical additives (CDA), which are usually synthesized from exhaustible energy sources (oil, gas, coal), which pollute the environment and harm human health. An alternative to environmentally harmful CDA are natural biodegradable materials, which include nanocellulose (NC). NC has unique properties and great potential for application in various industries, in particular for improving the performance of paper and cardboard. The paper presents the results of research into the processes of obtaining cellulose and nanocellulose from sunflower stems and the influence of nanocellulose on the quality indicators of moisture-resistant cardboard. The chemical composition and morphological structure of the woody part and parenchyma of sunflower stems were determined. Changes in the yield, residual lignin content and mineral substances in cellulose during the thermochemical treatment of sunflower stalks by extraction with alkali and peracetic solution are presented. The influence of technological parameters of the process of hydrolysis of organosolvent sunflower cellulose on the quality indicators of nanocellulose (NC) is studied. It was established that sunflower NC particles have a transverse size of 6–20 nm, a length of tens of micrometers, the NC suspension has a density of up to 1.51 g/cm³, and NC films have a tensile strength of up to 65.4 MPa, transparency of up to 83%, a crystallinity index of up to 78.4% and a lateral order index of up to 1.83. The influence of sunflower NC on the quality indicators of moisture-resistant container cardboard is studied. It has been established that increasing the consumption of NC in the range from 1 to 5 kg/t of cardboard has a positive effect on its quality indicators, in particular on mechanical strength and water resistance. The use of sunflower NC in the composition of moisture-resistant cardboard allows replacing 50% of environmentally harmful synthetic chemical auxiliary substances used in the production of paper and cardboard.

Keywords: sunflower stem and parenchyma, ecological cellulose, nanocellulose, moisture-resistant cardboard, resource efficiency

References

1. State statistics service of ukraine. Plant Growing in Ukraine 2022. Available at: https://csr2.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/09/zb_rosl_2022.pdf
2. DNB. (2023). Pulp & Paper. 2023 Available at: https://s201.q4cdn.com/761980458/files/doc_news/2023/09/Apresentacao/2023-09-13-DNB-Pulp-Paper.pdf.
3. Yu, S., Sun, J., Shi, Y., Wang, Q., Wu, J., Liu, J. (2021) “Nanocellulose from various biomass wastes: Its preparation and potential usages towards the high value-added products”, *Environmental Science and Ecotechnology*, no 5, 100077. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2020.100077>
4. Li, A., Xu, D., Luo, L., Zhou, Y., Yan, W., et. al. (2021) “Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products”, *Nanotechnology Reviews*, no 10, pp. 264–281. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0023>
5. Reshmy, R., Philip, E., Paul, S. et al. (2020) “Nanocellulose-based products for sustainable applications: recent trends and possibilities”, *Rev Environ Sci Biotechnol*. No 19, pp. 779–806. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09551-z>
6. Thakur, V., Guleria, A., Kumar, S., Sharma, S., Singh, K. (2021) “Recent advances in nanocellulose processing, functionalization and applications: a review”, *Materials Advances*, no 2(6). pp. 1872–1895. doi:10.1039/D1MA00049G
7. Persistence Market Research. Nanocellulose Market. Available at: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/nanocelulose-market.asp>.
8. Baskakov, S.A., et al. (2022). “Cellulose from Annual Plants and Its Use for the Production of the Films Hydrophobized with Tetrafluoroethylene Telomers”, *Molecules*, no 27, 6002. MDPI. DOI:10.3390/molecules27186002
9. Brodin, F.W., Gregersen, Q.W., Syverud, K. (2014) “Cellulose nanofibrils: Challenges and possibilities as a paper additive or coating material – A review”, *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, no 29(1), pp. 156 – 166.
10. Bárta, J., Hájková, K., Sikora, A., Jurczyková, T., Popelková, D. et al. (2024) “Effect of a Nanocellulose Addition on the Mechanical Properties of Paper”, *Polymers*, no 16, pp. 73. DOI:10.3390/polym16010073
11. Worku, L., Bachheti, A., Bachheti, R., Rodrigues, C., Chandel, A. (2023) “Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication” *Membranes (Basel)*, no 13(2), p. 228. DOI:10.3390/membranes13020228
12. Barbash, V.A., Yashchenko, O.V. (2021), “Preparation, Properties and Use of Nanocellulose from Non-Wood Plant Materials”, In: *Novel Nanomaterials*, Editor Krishnamoorthy K., London: IntechOpen,. P. 61–83. DOI:10.5772/intechopen.942721.
13. Barbash, V.A., Yashchenko, O.V., Yakymenko, O.S., Zakharko, R.M., Myshak, V.D. (2022), “Preparation of hemp nanocellulose and its application for production of paper for automatic food packaging”, *Cellulose*, doi:10.1007/s10570-022-04773-6.
14. Barbash, V., Yakymenko, O., Yashchenko, O. (2023) “Effect of hemp nanocellulose on the quality indicators of food packaging paper”, *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, no. 6, pp. 5–12.
15. Barbash, V., Yakymenko, O., Berezovsky, G., Yashchenko, O. (2024) “The effect of reed nanocellulose on the quality indicators of wallpaper base paper”, *Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», no 1, pp. 42–51. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2024.300984>*
16. TAPPI Test Methods (2004), Tappi Press, Atlanta, Georgia, 187 p.
17. Shevchik, V., Khadzhinova, S. (2013) “Methods for calculating the mechanical properties of corrugated cardboard”, *Packaging*, no. 1, pp. 20–25.
18. Barbash, V., Trembus, I., Ploskonos, V., Shvidky, A. (2014) “Alkaline sulfite-alcohol delignification of stems of helianthus annuus and bunias”, *Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», no 1(12), pp. 80–83.*
19. Rhim, J., Reddy, J., Luo, X. (2014) “Isolation of cellulose nanocrystals from onion skin and their utilization for the preparation of agar-based bio-nanocomposites films”, *Cellulose*, no 22, pp. 407–420 doi:10.1007/s10570-014-0517-7
20. Fatriasari, W., Syafii, W., Wistara, N., Syamsu, K., Prasetya, B., Anita, S. H., Risanto, L. (2016) “Fiber Disruption of Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper*) by Combined Fungal and Microwave Pretreatment”, *BIOTROPIA*, no 22(2). pp. 81–94. <https://doi.org/10.11598/btb.2015.22.2.363>.