УДК 676.255.332

С.В. ПУТІНЦЕВА, А.О. ТІХОСОВА, О.М. МАНДРА

Херсонський національний технічний університет

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ РІЗНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

S. PUTINTSEVA, A. TIKHOSOVA, O. MANDRA

Kherson National Technical University

CHARACTERISTICS OF THE PROPERTIES OF CELLULOSE- CONTAINING MATERIALS FROM DIFFERENT RAW MATERIAL PLANTS

<https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-23>

Мета роботи полягає в здійсненні аналізу властивостей целюлозовмісних матеріалів із різної рослинної сировини для встановлення їх придатності для виготовлення целюлозних напівфабрикатів у целюлозно-паперовій промисловості, а також проведенні досконалого вивчення сучасних технологій одержання целюлозних напівфабрикатів із стебел та волокна технічних конопель.

Методика. Дослідження в роботі проводили з використанням методик, основою яких є порівняльний та системний аналізи, методи логічного узагальнення та теоретичний пошук, що ґрунтуються на пошуку та обробці інформації, яка була взята з матеріалів наукових збірників та журналів, а також статистичних джерел Інтернет-ресурсів.

Результати. В роботі визначено основні інноваційні технології використання альтернативних джерел целюлозовмісної сировини у целюлозно-паперовій промисловості. В багатьох країнах світу цією сировиною є сільськогосподарські культури. Використання продукції аграрного комплексу України також може розглядатися одним з напрямків підвищення ефективного забезпечення сировинними ресурсами підприємств целюлозно-паперової промисловості. Асортимент усіх побічних продуктів сільськогосподарського виробництва дуже великий. З усіх видів недеревної целюлозовмісної рослинної сировини для виробництва волокнистих напівфабрикатів визнаються такі види сільськогосподарських культур: солома зернових культур, стебла кукурудзи, олійні та інші технічні культури, а саме: бавовник, соняшник, ріпак, коротке льоноволокно, лляна та конопляна костриця. Завдяки проведеному аналізу властивостей, визначено перспективні види сировини у даному контексті: це джут та технічні коноплі, які відносяться до лубоволокнистих матеріалів. Проаналізовано широкий спектр використання соломи технічних конопель як альтернативної целюлозовмісної сировини та підтверджена його економічна ефективність. Таким чином, аналіз проведених досліджень підтверджує доцільність та необхідність

застосування інноваційних технологій перероблення соломи технічних конопель на напівфабрикат для виробництва целюлозовмісних матеріалів. Це вимагає не тільки значних капіталовкладень для облаштування такого виробництва, але і вдосконалення технології первинної підготовки рослинної сировини, придатної для використання в целюлозно-паперовій промисловості.

Практична значимість. Проведені теоретичні дослідження та аналіз літературних джерел підтверджує тезу про необхідність застосування інноваційних технологій перероблення соломи технічних конопель на напівфабрикат для виробництва целюлозовмісних матеріалів та вдосконалення технології їх первинної підготовки для використання в целюлозно-паперовій промисловості.

Ключові слова: целюлозовмісні матеріали, рослинна сировина, целюлозно-паперова промисловість, технічні коноплі.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Основним видом сировини для виробництва целюлозних виробів є деревина, використання якої у целюлозно-паперовій промисловості становить 90 % кількості рослинної сировини, що використовується в промисловості для отримання волокнистого напівфабрикату [1]. За висновками таких фахівців, як Доскіч В. [2] та враховуючи сучасний стан лісового комплексу країн Європи, Україна належить до мало лісистих країн, де забезпеченість лісами становить лише 15,7 %. Тому наша країна не може забезпечити власними сировинними ресурсами вітчизняну паперову промисловість (табл. 1). Аналіз статистичних та аналітичних даних, представлених в таблиці 1 та на рис. 1, дозволяє зробити висновок про недостатнє використання лісових насаджень в Україні, порівняно з іншими країнами.

Таблиця 1. Площа лісів країн Європи

№ з/п	Країна	Загальна площа території країни, тис. га	Площа вкритих лісом земель, тис. га	Відсоток лісистості
1	Туреччина	77945	9954	12,8
2	Україна	60370	9491	15,7
3	Франція	54919	15156	27,6
4	Іспанія	50596	13509	26,7
5	Швеція	45218	27264	60,3
6	Німеччина	35702	10740	30,1
7	Фінляндія	33814	21883	64,7
8	Норвегія	32376	8710	26,9
9	Польща	31268	8942	28,6
10	Італія	30132	9857	32,7

Рис. 1. Показник лісистості країн Європи

На рис. 2 зображено динаміку використання та відновлювання лісових насаджень в Україні, докладний аналіз якої свідчить про наявність проблеми використання лісів та пошук альтернативних видів сировини для одержання целюлозовмісних матеріалів.

Рис. 2. Відтворення лісів Держлісагентством України

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Примноження, збереження, та орієнтація на комплексне використання загальних лісових ресурсів є одним із завдань у даному напрямку. Для цього потрібно скоротити обсяги суцільних рубок, а головне, розширити пошук заміників деревної сировини.

Зазначимо, що на сьогодні в Україні немає целюлозно-паперового підприємства, яке б працювало на власно виготовленій целюлозі [3].

У зв'язку з розвитком паперової галузі поступово змінюється її орієнтація на наукову діяльність, яка пов'язана з автоматизацією виробництва, зниженням собівартості продукції та збільшенням виробництва за рахунок розширення сировинної бази. Таким чином, український ринок целюлозовмісної продукції поступається аналогічним ринкам інших країн, і це не дозволяє йому бути конкурентоспроможним на європейському та світовому рівнях. Ця проблема має кілька причин, які об'єктивно залежать від розвитку держави і навпаки.

Цілі статті полягають у проведенні аналізу властивостей целюлозовмісних матеріалів із різної рослинної сировини та доведенні доцільності застосування сучасних технологій одержання целюлози із технічних конопель.

Об'єкт дослідження. Властивості целюлозовмісних матеріалів із різної рослинної сировини.

Методи дослідження. Дослідження в роботі проводили з використанням методик, основою яких є порівняльний та системний аналізи, методи узагальнення.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Аналіз літературних джерел [4-9, 13] дає змогу визначити основні інноваційні технології використання альтернативних джерел целюлозовмісної сировини у паперовій промисловості (табл. 2).

Таблиця 2. Інноваційні технології використання альтернативних джерел целюлозовмісної сировини у паперовій промисловості

Країни	Способи використання альтернативних джерел целюлозовмісної сировини
1	2
США	Спосіб приготування целюлози зі стебел кукурудзи (2000 рік) Спосіб виготовлення паперової маси, лігнінів, цукрів та оцтової кислоти шляхом фракціювання лігноцелюлозних рослинних матеріалів у середовищі мурашиної кислоти (2009 рік)
Австралія	Виробничі та фізико-хімічні властивості плівок карбоксиметилцелюлози, збагачені полісахаридами, що вийшли з кави (2013 рік)
Польща	Вплив вмісту целюлози в біомасі рослин на якісні характеристики гранул (2015 рік)

Продовження таблиці 1

1	2
Канада	Підготовка нанофібрилів целюлози з бамбукової целюлози шляхом механічної дефібриляції для їх застосування в біодеградованих композитах (2015 рік)
Китай	Спосіб отримання целюлози та паперу з червоних водоростей (2009 рік) Виробництво нового целюлозного наноматеріалу з морської біомаси червоних водоростей <i>Gelidiumelegans</i> (2016 рік)
Бразилія	Виробництво бактеріальної целюлози за допомогою <i>Glucanacetobacterhansenii</i> з використанням крутого настою з кукурудзи як живильного джерела (2017 рік)

З таблиці 2 видно, що в багатьох країнах одним із альтернативних джерел целюлозовмісної сировини є сільськогосподарські культури.

В Україні сільське господарство щорічно виробляє значну кількість зернових, технічних та інших культур, а також має великі запаси побічних продуктів (рис. 3) і може розглядатися одним з напрямків підвищення ефективного забезпечення сировинними ресурсами підприємств целюлозно-паперової промисловості.

Рис. 3. Динаміка виробництва та урожайності злакових культур в Україні

Асортимент усіх побічних продуктів сільськогосподарського виробництва дуже великий. З усіх видів недеревної целюлозовмісної рослинної сировини для виробництва волокнистих напівфабрикатів визнаються: солом зернових культур, стебла кукурудзи, олійні та інші технічні культури, а саме: бавовник, соняшник, ріпак, коротке льоноволокно, лляна та конопляна костриця [1].

У цьому контексті досить перспективною сировиною є джут і технічні коноплі. Завдяки хімічному складу та унікальному поєднанню таких властивостей, як гігієнічність, висока міцність, природна бактерицидність, джут та технічні коноплі з давніх-давен використовують для текстильної, легкої, паперової, будівельної, паливної, косметологічної та інших галузей промисловості, виробляють джутові мішки [9]. Волокна джуту та технічних конопель використовують при виробництві мотузок, канатів, тросів та шпагату. Вироби з джуту та конопель міцні та зносостійкі. Крім того, для вирощування цих однолітніх рослин не потрібно жодних хімічних добрив, завдяки чому така сировина на 100 % екологічно чиста [10]. На основі целюлози з м'якоті конопель можна виготовляти біополімер, який розкладається у навколишньому середовищі, піддається повній вторинній переробці та утилізації, має високу міцність та гнучкість. Такий полімер знаходить багатогранне застосування: від упаковки для харчових продуктів та промислової продукції до внутрішнього оснащення автомобілів [10].

За своїми властивостями зазначені види недеревної целюлозовмісної сировини можна поділити на дві групи: перша, це волокна льону-довгунця, льону олійного, конопель, джуту, бавовнику та відходи прядіння з різним вмістом костриці; друга – інші зазначені види сировини. Всі види сировини першої групи містять 75-90 % целюлози, 1-3 % лігніну, мають міцні волокна, розміром до 10 мм і більше, а другої – 35-52 % целюлози, 13-22 % лігніну, 18-27 % пентозанів [1].

У світовій целюлозно-паперовій промисловості основною сировиною для виготовлення паперу та картону є деревна целюлоза. В Україні немає достатніх запасів деревини, тому для нашої держави стає актуальним використання інноваційних технологій у виробництві целюлозних напівфабрикатів з рослинної сировини [4-9]. На сьогодні вітчизняні паперові підприємства у своєму виробництві використовують імпортовану целюлозу та макулатуру. Однак висока вартість імпортованої целюлози, яка складала на кінець 2021 р. приблизно 700 \$ за тону, зумовлює необхідність розширення власної целюлозовмісної сировинної бази для підприємств целюлозно-паперової промисловості.

Україна є аграрною країною і тому, провідну роль у розвитку її економіки відіграє сільське господарство. Щорічно сільгосппідприємства збирають урожай для різних потреб і мають багато побічних продуктів, які необхідно вивозити із посівної площі. До 3 т соломи припадає на 1 т насіння під час

виращування олійних культур [11]. Дані про врожайність найбільш рентабельних культур України та соломи, яка залишається після їх збору, наведенні у таблиці 3 [12].

Таблиця 3. Урожайність культур сільськогосподарських (ц з 1 га площі)

Роки	Культури зернові та зернобобові	Кількість соломи, ц/га	Культури олійні	Кількість соломи, ц/га	Соняшник	Кількість соломи, ц/га
2010	28,0	84	15,2	45,6	16,4	45,0
2015	41,1	123,3	21,0	63,0	21,6	64,8
2016	46,1	138,3	22,5	67,5	22,4	67,2
2017	42,5	127,5	20,6	61,8	20,2	60,6
2018	44,5	133,5	23,8	71,4	23,4	70,2
2019	48,2	144,6	25,0	75,0	25,9	77,7
2020	42,5	127,5	20,5	61,5	20,5	61,5
2021	43,8	131,4	-	-	23,1	69,3

Як видно з таблиці 3, за останні 7 років урожайність агрокультур, які є альтернативним джерелом целюлозовмісної сировини, є стабільною. Враховуючи даний факт, наявність окремих ресурсів та місце України на світовому ринку, можна зазначити, що сільське господарство буде актуальним і в майбутньому.

Солома має дуже широкий спектр використання: це корм та підстилка для худоби, джерело палива. Але значний об'єм отриманої соломи все одно залишається не використаним, приблизно 40-50 % від всієї кількості [11].

За кордоном солома вже давно використовується як альтернативна сировина для отримання целюлозних напівфабрикатів з достатніми властивостями для виробництва паперової продукції.

З метою підтвердження економічної ефективності використання соломи однолітніх рослин як альтернативного джерела сировини для целюлозно-паперової промисловості України, в роботі Гондовської А.С., Богданової О.Ф. [13, 14] було здійснено відповідні розрахунки і зроблено висновок, що в залежності від площ та умов збирання однолітніх культур витрати можуть бути різними. Але для фермерів збір врожаю є важливим і для якості використання ґрунту актуальним стає процес прибирання соломи з полів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, якщо використовувати солому як альтернативну целюлозовмісну сировину для виробництва паперової продукції, витрати виробництва зменшаться у 2 рази в

порівнянні з використанням імпортованої целюлози (вартість соломи в середньому становить 2000 грн. [13]). Аналіз попередніх досліджень підтверджує доцільність та необхідність застосування інноваційних технологій перероблення соломи технічних конопель на напівфабрикат для виробництва целюлозовмісних матеріалів. Звичайно, це вимагає не тільки значних капіталовкладень для облаштування такого виробництва, але і вдосконалення технології первинної підготовки рослинної сировини для одержання целюлозовмісних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Барбаш В.А. Іноваційні технології рослинного ресурсозбереження: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2017. 288 с.
2. Доскіч В. Проблеми лісових ресурсів України. УНІА – інформаційне агентство. URL: <https://www.unian.ua/ecology/1194415-problemi-lisovih-resursiv-ukrajini.html>. (дата звернення: 08.01.2022).
3. Новини Асоціації українських підприємств целюлозно-паперової промисловості «УкрПапір». URL: <http://www.ukrpapir.org/news.php>. (дата звернення: 06.01.2022).
4. Andrea F.S. Costa, Fabíola C.G. Almeida, Glória M. Vinhas, and Leonie A. Sarubbo, Production of bacterial cellulose using *Gluconacetobacterhansenii* using abrupt corn infusion as a nutrient source, *Journal of Front Microbiology*. 2017. № 8. P. 20-27.
5. Artur Kraszkiewicz, Magdalena Kachel-Jakubowska, Edmund Lorencowicz, Artur Przywara, Influence of cellulose content in biomass of plants on qualitative characteristics of granules, *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 7. 2015. P.125-130.
6. Guimarães M Jr, Botaro VR, Novack KM, Neto WP, Mendes LM, Tonoli GH., Preparation of nanofibrils of cellulose from bamboo cellulose by mechanical defibrillation for their application in biodegradated composites, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2015. №15. P. 51-68.
7. Navya P.N., Roopali N. Bhoite and Pushpa S. Murthy, Bioconversion of Coffee Husk Cellulose and Statistical Optimization of Process for Production of Exoglucanase by *Rhizopus stolonifer*, *World Applied Sciences Journal*. 2013. №6. P. 781-789.
8. You Wei Chena, HweiVoon Lee, Joon Ching Juanab, Siew-Moi Phangcd, Production of new cellulosic nanomaterial from marine biomass of red algae *Gelidium elegans*, *Carbohydrate Polymers*. 2016. №151.P. 1210-1219.
9. Перспективные технологии и новые разработки. URL: <http://www.sibpatent.ru>. (дата звернення: 05.01.2022).
10. Голобородько П.А., Ситник В.П., Баранник В.Г. Льонарство та коноплярство: проблеми і перспективи. *Селекція, технологія виробництва та первинної переробки льону і конопель*: збірник. наук. праць. Глухів: Інститут луб'яних культур УААН, 2000. С. 3-15.
11. Митченко О.О., Чехова І.В., Чехов С.А. Основні напрями використання олійних культур у біоенергетичній галузі. *Продуктивність агропромислового виробництва. Економічні науки*. 2014. Вип. 26. С. 88-97.
12. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 05.01.2022).

13. Гондовська А.С., Гондовський Д.С., Скоробогатова Н.Є. Інноваційні технології в целюлозно-паперовій промисловості як інструмент забезпечення сталого розвитку. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*, 2019. с. 370-379.

14. Богданова О.Ф., Резвих Н.І., Ляліна Н.П. Економічна ефективність переробки трести безнаркотичних конопель для виготовлення целюлозовмісних виробів. *Розвиток національної економіки: теорія і практика: матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, м. Івано-Франківськ, 3-4 квітня 2015 року. ДВНЗ «Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника», 2015. С. 48-50.

References

1. Barbash V.A. (2017) Inovacijni tekhnologhiji roslynnogho resursozberezhennja [Innovative technologies of plant resource conservation]. Kyiv: Caravel. [in Ukrainian].

2. Doskich V. Problemy lisovykh resursiv Ukrainy. UNIA – informacijne aghentstvo. [Problems of forest resources of Ukraine. UNIA is a news agency]: veb-sajt [website] URL: <https://www.unian.ua/ecology/1194415-problemi-lisovih-resursiv-ukrajini.html>. (Last accessed: 08.01.2022). [in Ukrainian].

3. Novyny Asociaciji ukrajinsjkykh pidpryjemstv celjulozno-paperovoji promyslovosti «UkrPapir» [News of the Association of Ukrainian Pulp and Paper Enterprises «UkrPapir»]: veb-sajt [website] URL: <http://www.ukrpapir.org/news.php>. (Last accessed: 06.01.2022). [in Ukrainian].

4. Andrea F.S. Costa, Fabíola C.G. Almeida, Glória M. Vinhas, and Leonie A. Sarubbo, Production of bacterial cellulose using *Gluconacetobacterhansenii* using abrupt corn infusion as a nutrient source, *Journal of Front Microbiology*. 2017. №8.P. 20-27.

5. Artur Kraszkiewicz, Magdalena Kachel-Jakubowska, Edmund Lorencowicz, Artur Przywara, Influence of cellulose content in biomass of plants on qualitative characteristics of granules, *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 7. 2015. P.125-130.

6. Guimarães M Jr, Botaro VR, Novack KM, Neto WP, Mendes LM, Tonoli GH., Preparation of nanofibrils of cellulose from bamboo cellulose by mechanical defibrillation for their application in biodegraded composites, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2015. №15. P. 51-68.

7. Navya P.N., Roopali N. Bhoite and Pushpa S. Murthy, Bioconversion of Coffee Husk Cellulose and Statistical Optimization of Process for Production of Exoglucanase by *Rhizopus stolonifer*, *World Applied Sciences Journal*. 2013. №6. P. 781-789.

8. You Wei Chena, HweiVoon Lee, Joon Ching Juanab, Siew-Moi Phangcd, Production of new cellulosic nanomaterial from marine biomass of red algae *Gelidium elegans*, *Carbohydrate Polymers*. 2016. №151.P. 1210-1219.

9. Perspektivnye tekhnologii i novye razrabotki. [Promising technologies and new developments]: veb-sajt [website] URL: <http://www.sibpatent.ru>. (Last accessed: 05.01.2022). [in Russian].

10. Gholoborodjko P.A., Sytnyk V.P., Barannyk V.Gh. (2000) Ljonarstvo ta konopljarstvo: problemy i perspektyvy [Flax growing and hemp growing: problems and prospects] *Selection, technology of production and primary processing of flax and hemp*. pp. 3-15. [in Ukrainian].

11. Mytchenok O.O., Chekhova I.V., Chekhov S.A. (2014) Osnovni naprjamy vykorystannja olijnykh kuljtur u bioenerghetychnij ghaluzi. [The main directions of oilseeds use in the bioenergy industry]. *Productivity of agro-industrial production. Economic sciences*. vol. 26, pp. 88-97. [in Ukrainian].

12. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [State Statistics Service of Ukraine]: veb-sajt [website] URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Last accessed: 05.01.2022). [in Ukrainian].

13. Ghondovsjka A.S., Ghondovsjkyj D.S., Skoroboghatova N.Je. (2019) Innovacijni tekhnologhiji v celjulozno-papеровij promyslovosti jak instrument zabezpechennja stalogo rozvytku [Innovative technologies in the pulp and paper industry as a tool for sustainable development] *Economic Bulletin of NTUU «KPI»*, pp. 370-379.

14. Boghdanova O.F., Rezvykh N.I., Ljalina N.P. (2015) Ekonomichna efektyvnistj pererobky tresty beznarkotychnykh konopelj dlja vygotovlennja celjulozovmisnykh vyrobiv [Economic efficiency of processing of non-narcotic hemp for production of cellulose-containing products] *Proceedings of the Rozvytok nacionaljnoji ekonomiky: teorija i praktyka (Ukraine, Ivano-Frankivsk, April 3-4, 2015)* Ivano-Frankivsk: DVNZ «Prykarpatskyj nacionalnyj universytet im. V. Stefanyka». pp. 48-50. [in Ukrainian].

Objective. *Made analysis of the properties of cellulose-containing materials from different plant materials to establish their suitability to manufacture cellulose semi-finished products in the cellulose and paper industry, and to conduct a complete study of modern technologies for cellulose production from stems and fibers of technical hemp.*

Methods. *The research was conducted using methods based on comparative and systematic analysis, logical generalization methods, and theoretical research, based on the search and processing of information taken from the scientific collections and journal materials, as well as statistical sources of Internet resources.*

Results. *The work identifies the main innovative technologies for the use of alternative sources of cellulose-containing raw materials in the cellulose and paper industry. In many countries around the world these raw materials are crops. The use of products of the agrarian complex of Ukraine can also be considered as one of the ways to increase the effective supply of raw materials to the cellulose and paper industry. All the by-products range of agricultural production is very large. Of all the types of non-wood cellulose-containing plant raw materials for the production of fibrous semi-finished products, the following types of crops are recognized: straw of grain crops, corn stalks, oleaginous, and other industrial crops, namely: cotton, sunflower, rapeseed, short flax fiber, flax, and hemp shives. Thanks to the analysis of properties, prospective types of raw materials have been identified: jute and technical hemp, that are fibrous materials. The wide range of uses of industrial hemp straw as an alternative cellulose-containing raw material is analyzed and its economic efficiency is confirmed. So, the analysis of the conducted research confirms the expediency and necessity of application of technical hemp straw innovative processing technologies on semi-finished products for cellulose-containing materials production. It requires not only significant investment to set up such production, but also improving the technology of primary preparation of plant raw materials, suitable for use in the cellulose and paper industry.*

Practical significance. *Conducted theoretical research and analysis of literature sources confirm the thesis on the need to use innovative technologies for processing straw of technical hemp into semi-finished products to produce cellulose-containing materials and improving the technology of their initial preparation in the pulp and paper industry use.*

Keywords: *cellulose-containing materials, plant material, cellulose and paper industry, technical hemp.*

Рекомендовано до друку д.т.н., професором
Херсонського НТУ Тіхосовою Г.А.
Стаття надійшла в редакцію 17.12.2021 р.