

УДК 676.18+676.166.6

*В.А. Барбаш<sup>а</sup>, В.В. Галиш<sup>а, б</sup>, І.М. Дейкун<sup>а</sup>***ВПЛИВ ПЕРОЦТОВОЇ ДЕЛІГНІФІКАЦІЇ НА ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНИЙ КОМПЛЕКС БІОМАСИ**<sup>а</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна<sup>б</sup> Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, м. Київ, Україна

Досліджено процес делігніфікації рослинної біомаси пероцтовою кислотою та встановлено вплив тривалості варіння на ступінь делігніфікації і ступінь видалення вуглеводного комплексу у кінцевих целюлозних продуктах. Оброблення різних представників рослинної біомаси виконували пероцтовою кислотою за концентрації 8% та за різної тривалості процесу. Дослідження зосереджено на процесі хімічного оброблення шести різних представників недеревної рослинної сировини у вигляді соломи – відходів сільського господарства, а також стебел швидкоростучих технічних і кормових культур. Було одержано целюлозні продукти з виходом близько 50% та білістю >60%. Показано, що збільшення тривалості оброблення закономірно призводить до зменшення виходу кінцевого продукту, що пов'язано з пролонгацією процесу окиснення та видалення лігніну, а також частковою деструкцією полісахаридної складової біомаси. Досліджений метод делігніфікації виявився ефективним для видалення >90% лігніну в дослідженому часовому інтервалі, проте селективність видалення лігніну та вуглеводів суттєво залежала від виду рослинної сировини. За збільшенням ефективності видалення лігніну пероцтовою кислотою досліджені рослини розташовуються в наступний ряд: свербіга>щавнат>лаватера>ріпак>пшенична солома>амарант. Здійснені дослідження дають підстави стверджувати, що пероцтова делігніфікація є ефективним способом хімічного оброблення рослинної біомаси, дозволяє одержати целюлозні продукти, які можуть бути використані у виробництві паперової продукції різного призначення, а також для потреб хімічної промисловості.

**Ключові слова:** рослинна біомаса, лігноцелюлоза, целюлоза, делігніфікація, селективність.

DOI: 10.32434/0321-4095-2022-143-4-3-10

**Вступ**

Лігноцелюлозна біомаса є найбільш поширеним полімером на планеті, з якої ефективно використовується лише незначна частка, в основному, для потреб целюлозно-паперової, текстильної та будівельної галузей (переважно деревина та прядильні культури). Застосування лігноцелюлозної сировини може бути значно збільшене шляхом розширення сировинної бази целюлозно-паперової та гідролізної галузей промисловості завдяки переробленню відходів сільського господарства у вигляді соломи зла-

кових, олійних і технічних культур, а також швидкоростучих однорічних і багаторічних рослин. Біомаса таких рослин – це лігноцелюлозний комплекс, який містить також незначну кількість екстрактивних і мінеральних речовин та який легко піддається модифікуванню. Рослинна біомаса може бути делігніфікована шляхом термохімічного оброблення, так званого варіння, з використанням як варильних реагентів різних хімічних речовин, в результаті чого одержують продукт збагачений на целюлозу [1]. Традиційними способами одержання целюлози з

© В.А. Барбаш, В.В. Галиш, І.М. Дейкун, 2022



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

деревини є сульфатний та сульфітний способи, які сприяють забрудненню довкілля парниковими газами, органічними сполуками сірки та хлоропохідними через використання хлору та його сполук в процесах вибілювання целюлози. Характерним є і те, що одержання целюлози зазначеними способами виконують за підвищених температур та надлишкового тиску. Хімічне оброблення рослинної сировини за таких умов супроводжується не лише реакціями окиснення та розчинення лігніну, але і деполімеризацією та деградацією високо- та низькомолекулярних полісахаридів, які є цільовими продуктами процесу варіння. Завдяки цьому вихід кінцевого продукту зазвичай нижче 50% від маси абсолютно сухої сировини.

З економічної точки зору, використання недеревної рослинної сировини для одержання целюлози є більш привабливим, оскільки процеси варіння можна виконувати за нижчих температур з огляду на структуру такого матеріалу, а це, в свою чергу, дозволить зменшити енерговитрати [2]. Крім того, для зменшення негативного впливу на довкілля можливим є використання органічних розчинників для делігніфікації, тобто виконання так званої органосольвентної делігніфікації, де як варильний розчин використовують суміш органічного розчинника та води [3,4]. Серед органосольвентних методів варіння найбільш дослідженими є способи Acetosolv, Kleinert, Alcell, ASAM, Organocell, ASAE, Milox [5,6]. Незважаючи на більшу екологічність зазначених процесів у порівнянні з традиційними, вони також виконуються за підвищених температури та тиску, крім Acetosolv та Milox, які можна виконувати за температури кипіння розчинів при атмосферному тиску [7,8].

Пероксикислоти розглядаються як ефективні реагенти делігніфікації рослинної сировини [9]. Делігніфікація біомаси пероцтовою кислотою є перспективною альтернативою традиційним способам. Процеси пероцтового варіння дають можливість утилізувати геміцелюлози рослинної сировини та виділити з відпрацьованих делігніфікуючих розчинів лігнін, який є перспективною сировиною для одержання низки сполук ароматичної природи, палива, а також може бути використаний як наповнювач органічних і неорганічних композитів. Делігніфікація рослинної сировини пероцтовою кислотою дозволяє одержати продукт високого виходу з низьким вмістом залишкового лігніну та високими показниками білості, що виключає необхідність використання додаткової стадії вибі-

лювання з застосуванням хлоровмісних вибілювальних реагентів [10]. Крім того, відповідно до літературних даних, пероцтова кислота селективно окиснює лігнін і практично не зачіпає полісахариди, а високий вихід кінцевого продукту пов'язаний з високим вмістом в ньому холоцелюлозного комплексу [11].

Загалом, розробка новітніх технологій хімічного перероблення рослинної сировини, зокрема з відходів агропромислового комплексу, є актуальною задачею хімічних технологій та екології для запровадження ефективних способів утилізації багатотоннажних рослинних відходів у цінні продукти багатофункціонального призначення [12]. Перспективним є використання недеревної сировини для одержання целюлозних матеріалів шляхом делігніфікації біомаси з подальшим їх використанням в паперовій або гідролізній галузях. Відмінності в розмірах рослинних волокон, хімічному складі, гнучкості та інших властивостях целюлози зумовлюють її використання у виробництві різних видів паперової продукції.

У всьому світі зростає інтерес до розробки нових способів виробництва продуктів, хімічних речовин, енергії та палива з відновлюваних джерел. Рослинні відходи завдяки наявності полісахаридної складової лігноцелюлозного комплексу мають великий потенціал для біоконверсії на біопаливо другого покоління. Біоконверсія лігноцелюлозної біомаси в біопаливо включає наступні основні етапи: попереднє оброблення, ферментний гідроліз, ферментацію та дистиляцію [13]. Попереднє оброблення є одним із ключових кроків для ефективного та економічного конкурентоспроможного перетворення лігноцелюлозних матеріалів у біоетанол. Основне значення технологій попереднього оброблення полягає в тому, щоб зменшити супротив біомаси, що обумовлено присутністю лігніну, який запобігає розпаду вуглеводів під дією ферментів, і, таким чином, забезпечити більший вихід цукрів [14].

Перспективною сировиною для забезпечення потреб целюлозно-паперової та хімічної галузі є багатотоннажні рослинні відходи сільськогосподарства України такі, як: солома пшениці та ріпаку, які залишаються на полях після збору врожаю та надалі майже не використовуються і спричиняють додаткове екологічне навантаження на довкілля, а також швидкоростучі рослини, які характеризуються високим приростом зеленої маси, наприклад: амарант, шавнат свербіга, лаватера. Оскільки всі лігноцелюлозні

матеріали різняться за структурою та складом, важливим завданням дослідження є визначення оптимальних умов їх делігніфікації.

Метою роботи є дослідження процесу делігніфікації різної лігноцелюлозної сировини розчином пероцтової кислоти.

Для досягнення вказаної мети поставлено наступні завдання:

– визначити показники вилучення лігніну в процесі делігніфікації різних представників рослинної сировини;

– встановити можливість подальшого використання пероцтових целюлозних продуктів.

#### **Методика експерименту**

У роботі як вихідний матеріал використовували солому пшениці та ріпаку, швидкоростучі культури: амарант, щавнат і свербігу, а також трав'янисту рослину лаватеру. Лігноцелюлозну сировину подрібнювали до розмірів 1,5–2,0 см і зберігали одержану січку в ексікаторах для підтримання постійної вологи та хімічного складу, який визначали відповідно до стандартних методик TAPPI [15]. Хімічний склад вихідної сировини наведено в табл. 1.

Процес делігніфікації рослинної біомаси виконували у скляних термостійких колбах за температури 95°C. Колби приєднували до зворотних холодильників для запобігання втратам компонентів варильного розчину та нагрівали до заданої температури на водяних банях. Процес делігніфікації виконували за гідромодуля 10:1 та тривалості 30–180 хв. Приготування делігніфікуючого розчину здійснювали змішуванням пероксиду водню (концентрація 30%) і льодяної оцтової кислоти у співвідношенні 30 та 70 об.%, відповідно, з подальшим витриманням розчину в темному місці на холоді до досягнення концентрації пероцтової кислоти 8%, а концентрація пероксиду водню становила 6%.

По закінченні процесу варіння целюлозний продукт промивали гарячою водою до нейтрального середовища і висушували на повітрі.

Оцінювання ефективності перебігу процесів делігніфікації здійснювали за значеннями показників селективності ( $C_n$ ), ступеня видалення вуглеводів (СВВ), ступеня делігніфікації (СД) та оптимальності видалення лігніну (ОПТ<sub>л</sub>) і вуглеводів (ОПТ<sub>вв</sub>):

$$C_n = \frac{B}{100 - \left(\frac{A \cdot \text{СД}}{100}\right)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\text{СВВ} = 100 - B \cdot \left(\frac{100 - \text{СД}}{100 - A}\right)\%, \quad (2)$$

$$\text{СД} = 100 - \frac{B \cdot C}{A}\%, \quad (3)$$

$$\text{ОПТ}_l = \frac{\text{СД} \cdot C_n}{100}\%, \quad (4)$$

$$\text{ОПТ}_{\text{вв}} = \frac{\text{СД} \cdot (100 - \text{СВВ})}{100}\%, \quad (5)$$

де А – вміст лігніну в біомасі, %; В – вихід целюлозного продукту, %; С – вміст залишкового лігніну у целюлозному продукті, %.

Важливим показником, який впливає на паперотворну здатність целюлозних матеріалів, є довжина волокон. Розміри елементарних волокон одержаних целюлозних продуктів визначали за допомогою апарата FS-100 фірми «Каяні».

Всі експерименти виконувались тричі, на основі яких розраховано середні значення з відносною похибкою менше 5%.

#### **Результати та обговорення**

Перебіг процесу пероцтової делігніфікації

Таблиця 1

Хімічний склад вихідної рослинної сировини, %

Сировина	Целюлоза	Пентозани	Лігнін	Речовини, що екстрагуються			Мінеральні речовини
				Гарячою водою	1%-им NaOH	Спирто-бензольною сумішшю	
Солома пшениці	46,2	26,4	18,6	6,0	36,2	4,6	4,2
Солома ріпаку	37,7	25,5	26,4	10,1	24,2	3,6	3,2
Стебла амаранту	31,9	19,8	26,5	17,9	35,6	0,4	3,7
Стебла лаватери	32,9	23,9	22,8	14,7	31,9	0,8	4,2
Стебла свербіги	34,3	19,9	22,0	25,4	35,7	1,4	5,1
Стебла щавнату	37,8	21,9	21,4	14,2	26,0	1,4	3,5

лігноцелюлозної біомаси за атмосферного тиску та невисокої температури дозволило одержати целюлозні продукти, вихід яких і вміст в них лігніну наведено на рис. 1 та 2.

Наведені дані показують, що збільшення тривалості процесу делігніфікації від 30 до 180 хв закономірно приводить до зменшення виходу целюлозного продукту та вмісту в ньому залишкового лігніну для всіх досліджених представників рослинної біомаси. Це пов'язано з пролонгацією процесу окиснення лігніну та частини полісахаридів і з переходом у розчинний стан низькомолекулярних продуктів їх окиснення, екстрактивних речовин, а також частини мінеральних речовин, що містяться в рослинній сировині. Отримані результати свідчать про те, що інтенсивність перебігу реакцій делігніфікації та

перехід лігніну у варильний розчин для зазначених представників рослинної сировини є дещо різною, що обумовлено двома основними факторами. По-перше, анатомічною структурою рослинної сировини, яка визначає глибину її просочення делігніфікуючими реагентами та впливає на швидкість їх дифузії у міжклітинний простір, а по-друге, різним хімічним складом, що впливає на реакційну здатність компонентів рослинної біомаси.

Слід зауважити, що максимальна швидкість делігніфікації та розчинення лігніну спостерігається протягом перших 90 хв процесу пероцтового варіння у всіх досліджених представників рослинної сировини. Варто відмітити, що за приблизно однакової тенденції у зменшенні виходу целюлозного продукту очевидним є те, що

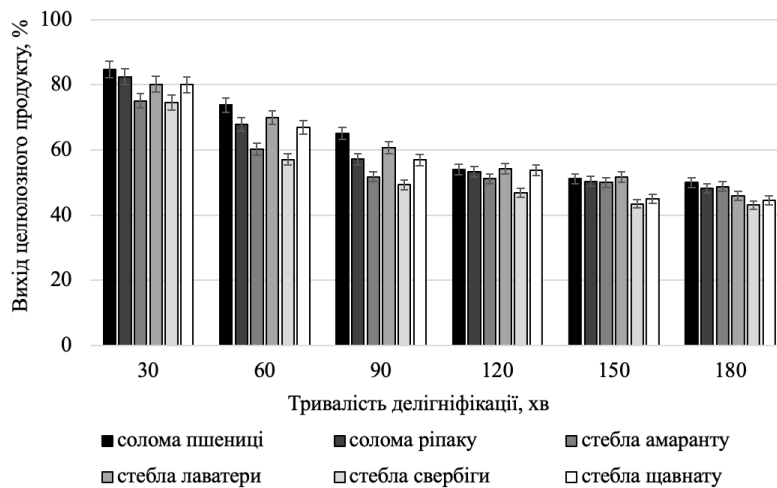


Рис. 1. Залежність виходу целюлозних продуктів від тривалості делігніфікації рослинної біомаси пероцтовою кислотою концентрацією 8%

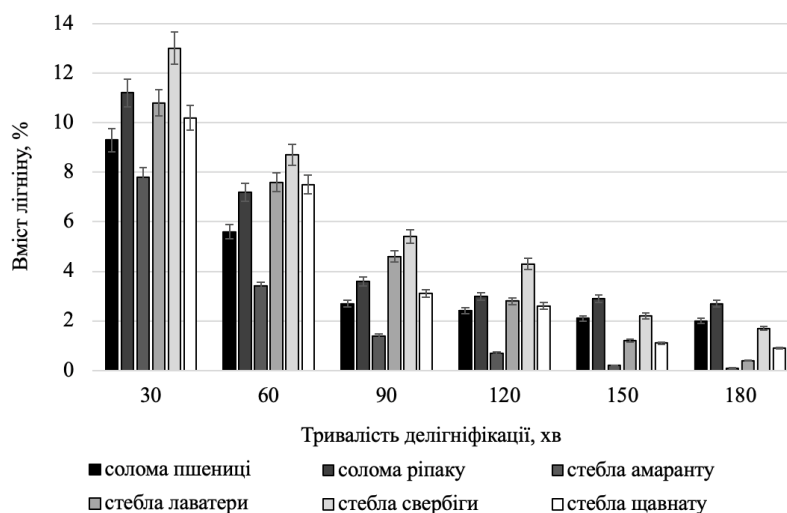


Рис. 2. Залежність вмісту лігніну в целюлозних продуктах від тривалості делігніфікації рослинної біомаси пероцтовою кислотою концентрацією 8%

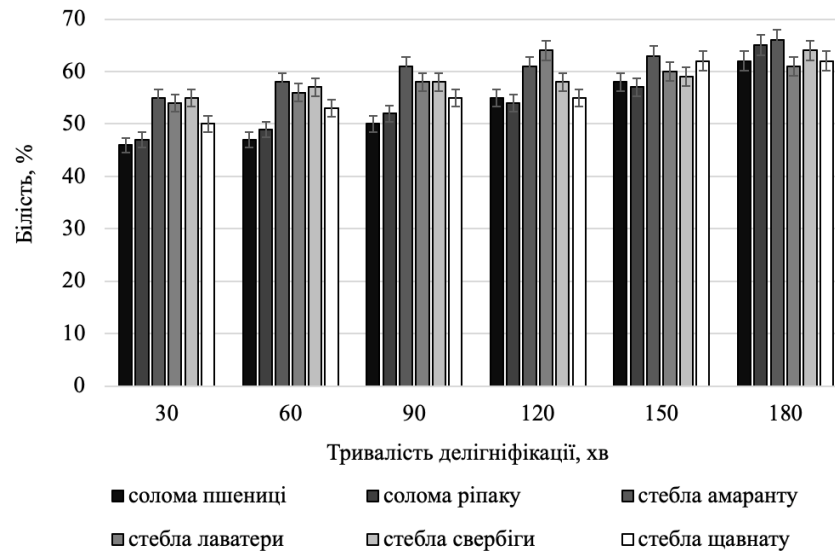


Рис. 3. Залежність білості целюлозних продуктів від тривалості делігніфікації рослинної біомаси пероцтовою кислотою концентрацією 8%

стебла амаранту найкраще піддаються делігніфікації, в результаті чого одержано кінцевий продукт з найменшим вмістом залишкового лігніну. Найбільший вміст лігніну за тривалості варіння до 120 хв спостерігається у целюлозних продуктах із стебел свербіги, а за максимальної тривалості оброблення у целюлозних продуктів із соломи ріпаку.

Зменшення вмісту залишкового лігніну зі збільшенням тривалості оброблення супроводжується підвищенням білості целюлозного продукту, про що свідчать результати на рис. 3.

Одержані волокнисті матеріали із білістю >50% можна використовувати у виробництві паперової продукції без застосування додаткової стадії вибілювання. Необхідні значення білості паперу і картону можна досягти шляхом використання оптичних вибілювачів. Наведені дані дають підставу зробити висновок про високу ефективність пероцтової кислоти для делігніфікації рослинної біомаси. Однак, у випадку одержання целюлозних волокнистих напівфабрикатів для потреб паперової чи гідролізної галузі, необхідним є оцінка впливу делігніфікуючого розчину на лігноцелюлозний комплекс. Виконати таке оцінювання дає можливість проведення порівняння значень показників вилучення лігніну: селективності, ступеня видалення вуглеводнів, ступеня делігніфікації, а також оптимальності видалення лігніну та вуглеводів. Результати розрахунків вказаних показників зведені в табл. 2.

Отримані результати свідчать про те, що зі

збільшенням тривалості пероцтового оброблення рослинної біомаси ступінь делігніфікації закономірно збільшується, але разом з тим, збільшується і ступінь видалення вуглеводів. Максимальною втратою вуглеводної частини характеризуються зразки целюлозного продукту, одержані зі стебел свербіги. Зі збільшенням тривалості оброблення показник селективності зменшується і така залежність пояснюється домінуванням реакцій гідролітичної деструкції полісахаридів над реакціями делігніфікації. Як видно з даних табл. 2, за збільшенням ефективності видалення лігніну в процесі пероцтової делігніфікації досліджені представники рослинної сировини розташовуються в наступну низку: свербіга—шавнат—лаватера—ріпак—пшенична солома—амарант.

Варто відмітити, що всі досліджені зразки целюлозних продуктів характеризуються однаковою тенденцією у зміні оптимальності видалення лігніну та вуглеводів зі збільшенням тривалості оброблення і всі зазначені залежності проходять через максимуми, які відповідають оптимальній тривалості пероцтової делігніфікації. Виконані розрахунки, показують, що максимуми оптимальності видалення лігніну та вуглеводів для делігніфікації пероцтовою кислотою пшеничної соломи, стебел шавнату, лаватери та свербіги досягаються за тривалості оброблення до 90 хв. Подальше збільшення тривалості оброблення є недоцільним, оскільки реакції окиснення лігніну супроводжуються реакціями інтенсивного окиснення та гідролізу полісахаридної

Таблиця 2

## Показники ефективності делігніфікації рослинної біомаси, %

Сировина	Тривалість делігніфікації, хв	Ступінь делігніфікації, %	Ступінь видалення вуглеводів, %	Селективність, %	Оптимальність видалення лігніну, %	Оптимальність видалення вуглеводів, %
Солома пшениці	30	57,7	5,6	94,9	54,7	54,4
	60	77,8	14,4	86,3	67,1	66,6
	90	90,6	22,2	78,2	<b>70,8</b>	<b>70,5</b>
	120	93,0	35,3	65,2	60,7	60,2
	150	94,2	38,4	62,1	58,5	58,0
	180	94,6	39,8	60,6	57,4	57,0
Солома ріпаку	30	65,0	10,0	99,6	64,7	58,5
	60	81,5	22,6	86,5	<b>70,5</b>	63,1
	90	92,2	25,1	75,6	69,7	<b>69,1</b>
	120	93,9	29,8	70,8	66,5	66,0
	150	94,5	33,5	67,1	63,4	62,8
	180	95,1	36,1	64,4	61,2	60,7
Стебла амаранту	30	77,9	5,8	94,6	73,7	73,4
	60	92,3	20,7	79,8	<b>73,6</b>	<b>73,1</b>
	90	97,3	30,5	69,7	67,8	67,6
	120	98,6	30,8	69,3	67,6	68,2
	150	99,6	32,1	67,9	67,3	67,6
	180	99,8	33,7	66,3	66,2	66,2
Стебла лаватера	30	62,0	7,3	93,4	57,9	57,5
	60	76,7	16,2	84,8	65,0	64,2
	90	87,7	24,8	76,0	<b>66,7</b>	<b>65,9</b>
	120	93,3	31,6	68,9	64,4	63,8
	150	97,3	33,8	66,4	64,6	64,4
	180	99,2	40,6	59,4	58,9	58,9
Стебла свербіги	30	55,9	16,8	85,1	47,6	46,5
	60	77,4	33,2	68,8	53,3	51,7
	90	87,9	40,2	61,1	<b>53,7</b>	<b>52,6</b>
	120	90,9	42,6	58,5	53,1	52,2
	150	95,7	45,4	55,1	52,7	52,2
	180	96,7	45,6	54,7	52,9	52,5
Стебла щавнату	30	61,9	8,6	92,2	57,0	56,5
	60	76,6	21,3	80,0	61,2	60,3
	90	91,7	29,7	70,9	<b>65,1</b>	<b>64,5</b>
	120	93,5	33,2	67,4	62,9	62,4
	150	97,7	43,3	57,0	55,7	55,4
	180	98,1	43,7	56,4	55,3	55,2

складової. У випадку делігніфікації стебел амаранту, оптимальність видалення лігніну та вуглеводів досягається вже за тривалості оброблення 60 хв. Аналіз розрахованих значень зазначених показників для процесу пероцтової делігніфікації соломи ріпаку показує, що оптимальність видалення лігніну та вуглеводів відповідає різним значенням тривалості процесу – 60 та 90 хв, відповідно. У даному випадку при виборі оптимальних параметрів делігніфікації, рішення приймають, виходячи зі значення оптимальності

видалення лігніну.

Загалом, одержані целюлозні матеріали характеризуються високим ступенем делігніфікації і можуть розглядатися як перспективна сировина для одержання біопалива шляхом біоконверсії.

У випадку використання целюлозних матеріалів у виробництві паперу важливим фактором є довжина целюлозних волокон, яка значною мірою визначає фізико-механічні показники кінцевої продукції. Результати визначення

Таблиця 3

## Фракційний склад целюлозних продуктів за довжиною волокна

Целюлоза із сировини	Частка фракції волокон відповідної довжини в целюлозному продукті, %				
	0,20–0,60 мм	0,61–1,20 мм	1,2–2,00 мм	2,00–3,00 мм	3,00–7,00 мм
Солома пшениці	55,2	30,3	13,7	0,8	0
Солома ріпаку	62,0	28,9	7,9	1,2	0
Стебла амаранту	67,1	25,2	7,0	0,7	0
Стебла лаватери	78,5	12,4	7,5	1,6	0
Стебла свербіги	61,1	30,1	5,6	3,2	0
Стебла шавнату	63,4	31,8	3,3	1,5	0

розмірів елементарних волокон целюлозних продуктів, одержаних оброблення рослинної біомаси пероцтовою кислотою протягом 120 хв, наведено у табл. 3. Як видно із наданих результатів, більша частина целюлозних волокон у всіх досліджених матеріалах має довжину, що не перевищує 1 мм і лише незначна частина має довжину більше 1 мм. Очевидним є те, що за значенням цього показника пероцтова целюлоза з недеревної рослинної сировини дещо поступається целюлозі із листяних і хвойних порід деревини. За вмістом волокон з довжиною від 1 до 3 мм одержані целюлозні продукти розташовуються в наступний ряд: пшенична солома (14,5%) – солома ріпак (9,1%) – стебла лаватери (9,1%) – стебла свербіги (8,8%) – стебла амаранту (7,7%) – стебла шавнату (4,5%). Слід відмітити, що в усіх досліджених целюлозних продуктах відсутня фракція волокон з довжиною більше 3 мм.

За результатами досліджень можна стверджувати, що одержані целюлозні продукти з недеревної рослинної сировини можуть бути використані у композиції паперу, що дозволить частково замінити дороговартісну імпортовану деревну целюлозу.

**Висновки**

Хімічне оброблення рослинної біомаси пероцтовою кислотою є ефективним процесом розділення основних компонентів лігноцелюлозного комплексу. Загалом, целюлозні продукти з недеревної рослинної сировини можуть розглядатися як альтернативна волокниста сировина, що придатна для використання у виробництві картонно-паперової продукції та у гідролізному виробництві. Одержані результати лабораторних досліджень можуть бути основою для розробки комплексних технологій перероблення рослинної сировини, що матиме позитивний вплив на сталий розвиток агропромислового комплексу, економіку та екологію.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Trembus I.V., Trophimchuk Ju.S., Galysh V.V.* Preparation of pulp from sunflower stalks using peroxy acids // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2018. – No. 2. – P.122-127.
2. *Trembus I.V., Sokolovska N.V., Halysh V.V.* Low-temperature method for manufacturing of cellulose from wheat straw // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2019. – No. 1. – P.116-122.
3. *Barbash V., Trembus I., Shevchenko V.* Ammonia-sulfite-ethanol pulp from wheat straw. *Cellulose Chem. Technol.* – 2014. – Vol.48. – No. 3-4. – P.345-353.
4. *Extraction of high-purity lignins via catalyst-free organosolv pulping from low-input crops / Rumpf J., Do X.T., Burger R., Monakhova Y.B., Schulze M.* // *Biomacromolecules*. – 2020. – Vol.21. – No. 5. – P.1929-1942.
5. *Current advancement on the isolation, characterization and application of lignin / Liao J.J., Latif N.H.A., Trache D., Brosse N., Hussin M.H.* // *Int. J. Biol. Macromol.* – 2020. – Vol.162. – P.985-1024.
6. *Investigation of the effects of different organosolv pulping methods on antioxidant capacity and extraction efficiency of lignin / Lu Q., Liu W., Yang L., Zu Y., Zu B., Zhu M., et al.* // *Food Chem.* – 2012. – Vol.131. – No. 1. – P.313-317.
7. *Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: influence of process variables and microstructural study / Hernandez-Hernandez H.M., Chanona-Perez J.J., Vega A., Ligerio P., Mendoza-Perez J.A., Calderon-Dominguez G., et al.* // *Ind. Crop. Prod.* – 2016. – Vol.86. – P.163-172.
8. *Formic acid based organosolv pulping of bamboo (Phyllostachys acuta): comparative characterization of the dissolved lignins with milled wood lignin / Li M.F., Sun S.N., Xu F., Sun R.C.* // *Chem. Eng. J.* – 2012. – Vol.179. – P.80-89.
9. *Deykun I., Halysh V., Barbash V.* Rapeseed straw as an alternative for pulping and papermaking // *Cellulose Chem. Technol.* – 2018. – Vol.52. – No. 9-10. – P.833-839.
10. *Sharma N., Bhardwaj N.K., Singh R.B.P.* Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: a review // *J. Clean. Prod.* – 2020. – Vol.256. – Art. No. 120338.

11. *Development* of effective technique for the disposal of the *Prunus Armeniaca* seed shells / Halysh V., Trembus I., Deykun I., Ostapenko A., Ilnitska G. // *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* – 2018. – Vol.1. – P.4-9.

12. *Abd El-Sayed E.S., El-Sakhawy M., El-Sakhawy M.A.M.* Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry // *Nordic Pulp Pap. Res. J.* – 2020. – Vol.35. – No. 2. – P.215-230.

13. *Ioelovich M.* Recent findings and the energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – a review // *BioResources.* – 2015. – Vol.10. – No. 1. – P.1879-1914.

14. *Volynets B., Ein-Mozaffari F., Dahman Y.* Biomass processing into ethanol: pretreatment, enzymatic hydrolysis, fermentation, rheology, and mixing // *Green Process. Synth.* – 2017. – Vol.6. – P.1-22.

15. *TAPPI* test methods. – Atlanta, Georgia: Tappi Press, 2004.

Надійшла до редакції 12.01.2022

#### INFLUENCE OF PERACETIC DELIGNIFICATION ON BIOMASS LIGNOCELLULOSIC COMPLEX

*V.A. Barbash<sup>a</sup>, V.V. Halysh<sup>a, b, \*</sup>, I.M. Deykun<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

<sup>b</sup> Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

\* e-mail: v.galysh@gmail.com

The process of delignification of plant biomass with peracetic acid was studied and the effect of the duration of peracetic delignification on the degree of delignification and the degree of removal of the carbohydrate complex in the final cellulose products was established. The treatment of different representatives of plant biomass was performed with peracetic acid at a concentration of 8% and at different time of the process. The study was focused on the process of chemical treatment of six different representatives of non-wood plant raw materials in the form of straw, agricultural waste, as well as stems of fast-growing industrial and fodder crops. Cellulose products were obtained with a yield of about 50% and a whiteness of greater than 60%. It was shown that an increase in the duration of processing naturally leads to a decrease in the yield of the final product, which is associated with the intensive oxidation and removal of lignin, as well as partial destruction of the polysaccharide component of biomass. The investigated method of delignification proved to be effective for the removal of more than 90% of lignin in the entire studied time interval, but the selectivity of the removal of lignin and carbohydrates depended significantly on the type of plant material. By an increase in the efficiency of lignin removal with peracetic acid, the studied plants are located in the following row: sverbiga (*bunias orientalis*)>shchavnat>lavatera>rapeseed>wheat straw>amaranth. Conducted research work gives grounds to claim that peracetic delignification is an effective method of chemical treatment of plant biomass; it allows obtaining cellulose products that can be used in the production of paper products for various purposes, as well as for the chemical industry.

**Keywords:** plant biomass; lignocellulose; cellulose; delignification; selectivity.

#### REFERENCES

1. Trembus IV, Trophimchuk JuS, Galysh VV. Preparation of pulp from sunflower stalks using peroxy acids. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2018; (2): 122-127.

2. Trembus IV, Sokolovska NV, Halysh VV, Nosachova JV, Overchenko TA. Low-temperature method for manufacturing of cellulose from wheat straw. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2019; (1): 116-122. doi: 10.32434/0321-4095-2019-122-1-116-122.

3. Barbash V, Trembus I, Shevchenko V. Ammonia-sulfite-ethanol pulp from wheat straw. *Cellulose Chem Technol.* 2014; 48(3-4): 345-353.

4. Rumpf J, Do XT, Burger R, Monakhova YB, Schulze M. Extraction of high-purity lignins via catalyst-free organosolv pulping from low-input crops. *Biomacromolecules.* 2020; 21(5): 1929-1942. doi: 10.1021/acs.biomac.0c00123.

5. Liao JJ, Latif NHA, Trache D, Brosse N, Hussin MH. Current advancement on the isolation, characterization and application of lignin. *Int J Biol Macromol.* 2020; 162: 985-1024. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.168.

6. Lu Q, Liu W, Yang L, Zu Y, Zu B, Zhu M, et al. Investigation of the effects of different organosolv pulping methods on antioxidant capacity and extraction efficiency of lignin. *Food Chem.* 2012; 131: 313-317. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.07.116.

7. Hernandez-Hernandez HM, Chanona-Perez JJ, Vega A, Ligerio P, Mendoza-Perez JA, Calderon-Dominguez G, et al. Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: influence of process variables and microstructural study. *Ind Crops Prod.* 2016; 86: 163-172. doi: 10.1016/j.indcrop.2016.03.043.

8. Li MF, Sun SN, Xu F, Sun RC. Formic acid based organosolv pulping of bamboo (*Phyllostachys acuta*): comparative characterization of the dissolved lignins with milled wood lignin. *Chem Eng J.* 2012; 179: 80-89. doi: 10.1016/j.cej.2011.10.060.

9. Deykun I, Halysh V, Barbash V. Rapeseed straw as an alternative for pulping and papermaking. *Cellulose Chem Technol.* 2018; 52(9-10): 833-839.

10. Sharma N, Bhardwaj NK, Singh RBP. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: a review. *J Clean Prod.* 2020; 256: 120338. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120338.

11. Halysh V, Trembus I, Deykun I, Ostapenko A, Ilnitska G. Development of effective technique for the disposal of the *Prunus Armeniaca* seed shells. *East Eur J Enterp Technol.* 2018; 1: 4-9. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123979.

12. *Abd El-Sayed ES, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MAM.* Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nord Pulp Pap Res J.* 2020; 35(2): 215-230. doi: 10.1515/nppj-2019-0064.

13. *Ioelovich M.* Recent findings and the energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels - a review. *BioResources.* 2015; 10(1): 1879-1914.

14. *Volynets B, Ein-Mozaffari F, Dahman Y.* Biomass processing into ethanol: pretreatment, enzymatic hydrolysis, fermentation, rheology, and mixing. *Green Process Synth.* 2017; 6: 1-22. doi: 10.1515/gps-2016-0017.

15. *TAPPI Test Methods.* Atlanta, Georgia: Tappi Press; 2004.