

Черьопкіна Р.І.

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

Яценко С.Ю.

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

Денисенко А.М.

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

ОТРИМАННЯ КАРТОНУ ІЗ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ

За результатами аналізу розвитку світового ринку картонно-паперової продукції сформовано тенденції щодо збільшення випуску пакульних видів паперу і картону. Розглянуто недоліки використання макулатури як основної сировини у виробництві картону та вирішення проблеми за рахунок додавання первинного волокна листяних порід. Відзначено виняткову роль швидко зростаючих порід деревини для отримання волокнистих напівфабрикатів, які дозволяють підвищити конкурентноздатність целюлозно-паперової галузі.

Досліджено хімічний склад *Paulownia Clone in Vitro 112*® та доведено перспективність використання її як повноцінного джерела сировини для ЦПВ. Виходячи з хімічного складу павловнії, запропоновано застосування модифікованого сульфітного способу перероблення деревини у слабо лужному середовищі. Вивчено вплив тривалості варіння та застосування каталізатора антрахінону на показники якості напівфабрикатів. Ефективність проведення варіння лужно-сульфітним способом деревини павловнії доведена результатами отримання напівфабрикатів від напівцелюлози до целюлози підвищеного виходу з показниками міцності як для лужних волокнистих напівфабрикатів. За результатами дослідження сформовано напрямки використання отриманих напівфабрикатів, які співпадають зі світовими тенденціями щодо виготовлення пакувальних видів продукції. Експериментально доведено, що напівцелюлоза отримана за нетривалого варіння характеризується підвищеною жорсткістю, що найкраще забезпечує властивості картону для споживчого пакування. Показано, що волокна з низьким вмістом лігніну, отримані тривалим варінням павловнії, а також в присутності антрахінону за фізико-механічними показниками є повноцінною сировиною для виробництва картону тарного макулатурного та картону для плоских шарів гофрокартону.

Вирощування швидко зростаючого сорту *Paulownia Clone in Vitro 112*® та використання деревини з метою перероблення на волокнисті напівфабрикати є перспективним практичним напрямом, реалізація якого допоможе у пошуку дефіцитної листяної сировини. Отримані результати досліджень можуть бути корисними для целюлозно-паперової промисловості, лісового господарства.

Ключові слова: *Paulownia Clone in Vitro 112*®, лужно-сульфітне варіння, напівцелюлоза, целюлоза підвищеного виходу, картон.

Постановка проблеми. Для виробництва картону нині, в основному, використовується макулатура. Однак треба відмітити, що вторинна сировина у вигляді макулатури не може забезпечити необхідні споживчі властивості різних видів паперу і картону. У першу чергу це пов'язано з низькими паперотворними властивостями таких волокон за рахунок багаторазового їх перероблення. Ця закономірність пояснюється поступовим ороговінням волокон, що призводить до

зниження набухання і, відповідно, фібрилювання, а також їх укорочення [1, 2].

Альтернативою підвищення втраченого потенціалу макулатури вважається додавання у композицію свіжого волокна. Практичними випробуваннями доведено, що саме напівфабрикати з високим вмістом пентозанів отриманих з листяних порід мають максимальну здатність до набухання, фібрилювання, утворення водневих зв'язків [3].

Тому важливим завданням дослідження є використання листяних порід для перероблення на волокнисті напівфабрикати. Для зниження шкідливого впливу на довкілля перспективним способом отримання напівфабрикатів може бути модифікація нейтрально-сульфітного способу за рахунок використання луку у розчині. Це дозволить проводити процес варіння у слабо лужному середовищі з максимальним розчиненням мінеральної і екстрактивної частин деревини та отриманням напівфабрикатів з усіма перевагами лужного варіння щодо їх показників міцності [4].

За останнє десятиліття у світовій целюлозно-паперовій промисловості спостерігається тенденція до підвищення на 30% виробництва пакувального паперу та картону, що пояснюється попитом на електронну торгівлю [5]. У 2022 році зростання випуску тарних видів картону за минуле десятиліття досягло піку і планується, що у 2023 році і подальші роки їх виробництво досягне нових історичних максимумів [6].

Складаються нові умови для підприємств галузі, які потребують гнучкого переходу на випуск затребуваних різних видів упаковки. Актуальним постає також питання забезпечення виробництв якісною сировиною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складні часи переживає вітчизняне картоно-паперове виробництво. Різні суб'єктивні та об'єктивні причини останніх трьох років призвели не тільки до створення дефіциту сировини, але і скорочення кількості виробництв. На початок 2020 року в Україні налічувалося біля 100 підприємств, які займалися виробництвом паперу і картону та їх переробленням [7]. За даними асоціації Укрпапір до складу учасників асоціації входило 35 підприємств, що діють на території України. Через військову агресію росії кількість підприємств учасників асоціації на початок 2023 року, які можуть продовжувати свою роботу скоротилося до 14 [7].

Підприємствами галузі за 2022 рік знизилася виробництво паперу та картону і індекс обсягів виробництва по відношенню до 2021 складає лише 55,8%, а для виробництва ящиків для гофкартону 58,9% [7].

Однією з причин треба визнати той факт, що майже всі підприємства для виробництва паперу і картону використовують вторинну сировину у вигляді макулатури [8, 9]. Однак традиційно впродовж багатьох років власної макулатури недостатньо. Пояснення цьому просте – через низький рівень збору і її заготівлі неможливо

забезпечити технологічні потреби виробників цим цінним видом сировини. Як наслідок відзначається висока залежність підприємств галузі від імпортової макулатури [10].

За останні три роки карантинні обмеження призвели до підвищення попиту на макулатуру і тому ціни на неї постійно зростали не тільки в Україні, але і в Європі. Необхідно зауважити, що із поширенням діджиталізації у багатьох сферах, збільшилося споживання пакувальних і санітарно-гігієнічного видів паперу та виробів із картону, які використовують у композиції 80–100% макулатури. Така тенденція пояснюється легкістю забезпечення санітарних норм під час пандемії, зручністю пакування, особливо, у харчовій сфері, а також зниженням навантаження на навколишнє середовище [10].

Для підвищення конкурентноздатності виготовлення упаковки з макулатури неминучим є впровадження сучасних інноваційних технологій. Вони, в першу чергу, стосуються отримання волокнистих напівфабрикатів швидко зростаючих порід деревини.

Останнім часом вченими та практиками значна увага приділяється переробленню на целюлозу листяних порід деревини і, особливо, тих, які швидко ростуть [11]. До найбільш вивчених і таких, що має промислово практичне застосування у целюлозно-паперовому секторі є листяна деревина евкالیпту. Целюлоза із цієї деревини відноситься до коротковолокнистих напівфабрикатів і успішно використовується у композиції багатьох видів паперу і картону, а також для хімічного перероблення [11].

За дослідженнями світових трендів попит на напівфабрикати із листяних порід буде зберігатися [11]. Це пояснюється специфічними властивостями таких волокон як надання м'якості паперу, непрозорості, щільності, [11, 12].

Однозначно превалюючим фактором конкурентноздатності хімічного перероблення листяних порід деревини є високий приріст деревини у короткий термін, що дозволить забезпечити зростаючі потреби у волокнистих напівфабрикатах.

Потужний розвиток генної інженерії дозволяє виводити все нові сорти дерев, які швидко ростуть і забезпечують високий приріст деревини. До таких дерев, що мають потенціал вирощування у різних кліматичних зонах відноситься павловнія [13]. З урахуванням найкращих умов вирощування цієї деревини вченими досліджено та виведено більше 9 сортів [13].

На сьогоднішній день можна впевнено констатувати, що на території України майже у всіх областях стали культивувати вирощування такого виду павловнії як Clone in Vitro 112® з метою отримання як ділової деревини, так і біопалива [14, 15].

До переваг цього сорту необхідно віднести універсальність вирощування рослини з точки зору швидкості росту. На п'ятий рік деревина досягає розмірів ділової та після її зрізання рослина здатна регенерувати новий пагін. З 1 га можна отримати до 400 м³ маси кругляка [16]. Стовбур деревини павловнії рівний, чистий і гладкий та не містить вузлів. Дерево відроджується природним шляхом із наявної кореневої системи, тому його ще називають Фенікс Деревом. Це означає, що можна зібрати від мінімум 3 до максимум 5 поколінь деревини без необхідності пересадки дерева [17].

До переваг використання павловнії у целюлозно-паперовому виробництві треба віднести те, що за хімічним складом деревина знаходиться на рівні з хвойними і листяними породами. Це дає можливість характеризувати її як повноцінну сировину для перероблення на волокнисті напівфабрикати [16, 18].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є отримання волокнистих напівфабрикатів модифікованим лужно-сульфітним способом з деревини павловнії та їх використання для виготовлення картону.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження хімічного складу використовували однорічні пагони павловнії Paulownia Clone in Vitro 112®, які подрібнювали до стану тирси довжиною 1–2 мм.

У сировині, відповідно до стандартів TAPPI, проаналізовано вміст холоцелюлози – Т 249, целюлози азотнокислим способом, лігніну TAPPI 60(10):143 (1977), золи Т 211, речовини, що екстрагуються спирто-бензольною сумішшю (СЖВ) – Т 204,

речовини, що екстрагуються холодною водою та гарячою водою – Т 257 та речовини, що екстрагуються 1% NaOH – Т 212 [19].

Відомо, що на початку росту деревина характеризується більшим вмістом лігніну. З віком поступово відбуваються зміни хімічного складу в сторону збільшення вмісту целюлози, а лігнін, навпаки – знижується. З аналізу даних хімічного складу однорічної деревини павловнії видно, що за вмістом целюлози вона наближається до хвойних порід деревини та дещо перевищує ці показники для листяних. Щодо лігніну, то закономірно для такого віку його вміст підвищений у порівнянні із листяними породами. Особливо треба відмітити низький вміст екстрактивних речовин у вигляді СЖВ, що важливо для перероблення деревини сульфітними способами. Дещо підвищені значення отримано зольності, що обумовлює використання у розчині лужного реагенту для її розчинення.

Дослідження хімічного складу деревини Paulownia Clone in Vitro 112®, а також тенденції щодо екологічності варіння дозволили визначитися щодо застосування модифікованого нейтрально-сульфітного способу варіння у лужному середовищі з використанням розчинної основи та подальшою регенерацією хімікатів.

Підготовка деревини павловнії до варіння лужно-сульфітним способом складалася з трьох етапів: висушування, обкорування, отримання трісок.

Однорічні пагони павловнії після технічного зрізання досягали довжини від 1,3 до 2,7 м, тому їх укорочували до приблизно 60–70 см і висушували впродовж трьох місяців на повітрі.

Обкорування деревини проводили вручну. З обкорованих пагонів отримували тріски довжиною 2,5–3 см, товщиною 1,8–2,2 мм.

Для приготування лужно-сульфітного варильного розчину використовували сіль Na₂SO₃ та

Таблиця 1

Хімічний склад деревини Paulownia Clone in Vitro 112® у порівнянні із хвойними та листяними породами

Сировина	<i>Paulownia Clone in Vitro 112®</i> (один рік)	Павловнія [18]	Сосна [18]	Береза [18]
Целюлоза, %	46,3	50,6	47,0	41,0
Лігнін, %	23,9	21,4	27,5	21,0
Холоцелюлоза, %	71,4	-	-	-
Геміцелюлози, (пентозани) %	-	(13,6)	10,4	28,0
Екстракція H ₂ O, %	7,6	-	6,7	2,2
Екстракція NaOH, %	27,6	-	19,4	11,2
СЖВ, %	1,5	-	3,4	1,8
Зола, %	0,8	0,5	0,2	0,5

NaOH як буфер. Розчин для варіння готували концентрацією 4,5% SO_2 з додаванням 0,1% антрахінону (АХ) від маси абс. сух. сировини та без нього.

Процес варіння трісок павловнії проводили у гліцериновій бані за температурним режимом, який наведено на графіку (рис. 1).

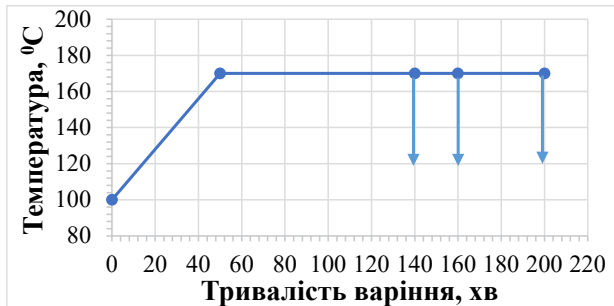


Рис. 1. Температурний режим варіння павловнії лужно-сульфитним способом

Схематичний процес делігніфікації деревини павловнії в лабораторних умовах можна навести наступним чином: з деревини павловнії отримують тріски до яких додають розчин для варіння – в результаті отримують целюлозу і відпрацьований розчин (рис. 2).



Рис. 2. Схематичний процес делігніфікації деревини павловнії лужно-сульфитним способом

Заповнені трісками і варильним розчином за ГМ 5:1 автоклави опускали у наперед нагріту гліцеринову баню до температури 100°C. Підйом температури впродовж 70 хв до кінцевої супроводжується просоченням трісок за рахунок витіснення води і повітря з пор та порожнин сировини і підвищенням тиску в автоклаві. Одночасно відбуваються реакції між активними реагентами варильного розчину SO_2 та OH^- і компонентами рослинної сировини. До основних реакцій треба віднести сульфонування лігніну, розчинення лужного лігніну і екстрактивних речовин та низькомолекулярних фракцій вуглеводів. Швидкість розчинення лігніну залежить від температури та тривалості варіння. Тому після досягнення кінцевої температури 170°C варіння продовжували 90 хв 120 хв та 150 хв.

По закінченні варіння автоклави витягали згідно графіка, охолоджували, відділяли твердий залишок від відпрацьованого щолоку і промивали його проточною водою на ситах.

У твердому залишку визначали вихід, залишковий вміст лігніну та фізико-механічні показники [19].

Для визначення показників міцності волокнисті напівфабрикати розмелювали і виготовляли лабораторні зразки у відповідності до методик TAPPI T 205 та T 262 [19].

Показники якості, отриманих в результаті варіння волокнистих напівфабрикатів, наведено на рис. 3–4.

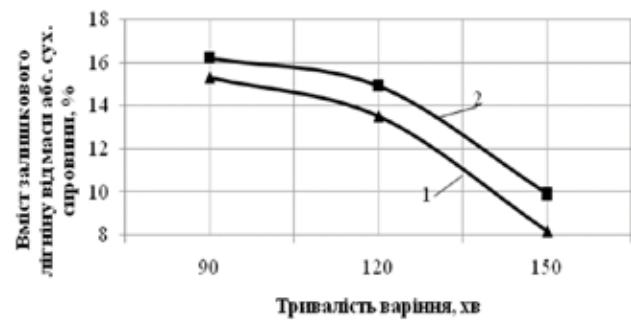
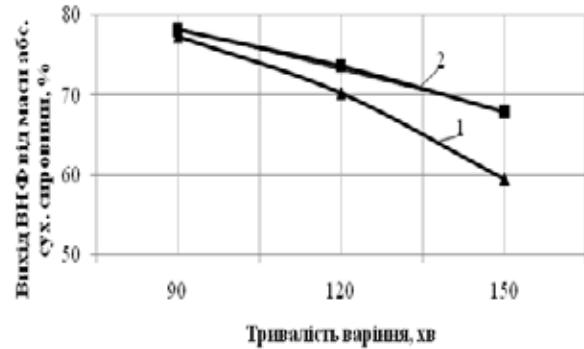


Рис. 3. Залежність виходу волокнистих напівфабрикатів, вмісту залишкового лігніну від тривалості варіння та каталізатора: 1 – варіння з антрахіноном; 2 – варіння без антрахінону

Як видно із наведених даних, отримано волокнисті напівфабрикати в широкому діапазоні виходу – від напівцелюлози до целюлози підвищеного виходу. Закономірно з тривалістю варіння відбувається поглиблення делігніфікації трісок, що позначається на зниженні виходу і залишкового лігніну. Важливим фактором впливу на процеси, які відбуваються під час варіння, можна вважати використання антрахінону як каталізатора. У всіх випадках використання антрахінону призводить до покращення ступеня делігніфікації трісок у порівнянні без антрахінону. Частково процеси, які протікають під час варіння можна пояснити одночасною взаємодією з компонентами деревини як сульфитних, так і гідроксильних іонів. У лужному середовищі просочування трісок варильним розчином пришвидшується, що призводить до скорочення тривалості варіння. Під дією гідроксильних іонів у ході варіння утворюється лужний лігнін, а сульфит-

них іонів – лігносульфонати. Особливістю застосування більш лужного розчину в даному випадку сприяє також розчиненню екстрактивних речовин і золи, що відображається у зниженні виходу (рис. 3), але, з іншого боку, позитивно впливає на показники міцності волокон (рис. 4).

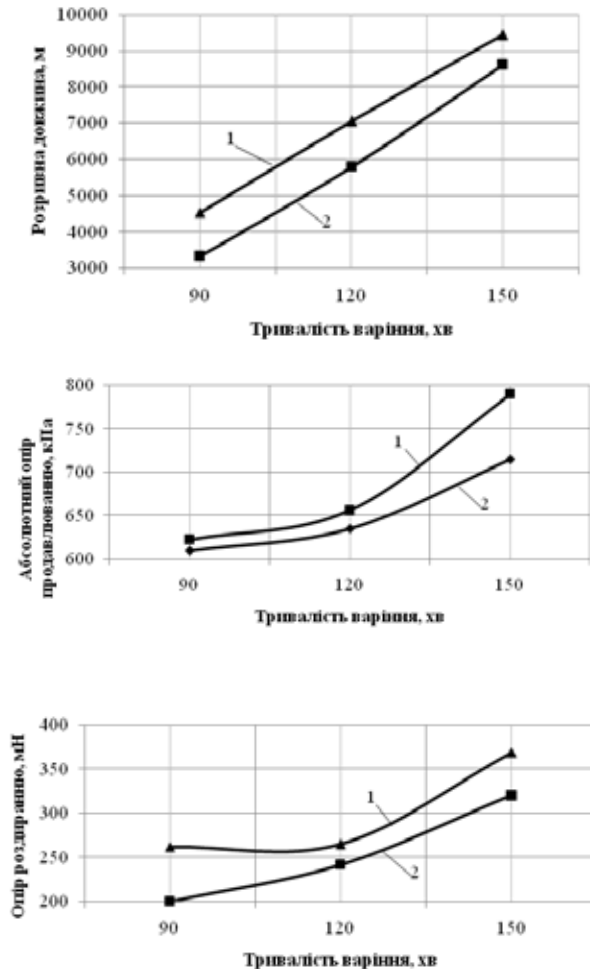


Рис. 4. Залежність розривної довжини абсолютного опору продавлюванню, опору роздиранню від тривалості варіння та каталізатора: 1 – варіння з антрахіноном; 2 – варіння без антрахінону

Показники розривної довжини із збільшенням тривалості варіння від 90 хв до 150 хв покращуються без АХ на 61,4%, з АХ на 52%, однак за однієї тривалості варіння ці показники для ВНФ з АХ вищі на 26–8% відповідно. Така ж закономірність спостерігається щодо опору роздиранню, де значення вищі для ВНФ, отриманих з АХ приблизно на 23%, а з тривалістю варіння в межах 14–37%.

На показник опору продавлюванню переважний вплив має також використання АХ, що призводить до підвищення значень з тривалістю варіння на 21% проти 14% без АХ.

Особливістю отриманих ВНФ є високі значення показника міцності на злом під час бага-

торазових перегибах, які знаходяться в межах 1500–5000 к.п.п., що наближається до показників целюлози із хвойних порід.

Таким чином, варіння трісок павловнії в умовах підвищеної лужності дозволяє отримувати напівфабрикати з високими показниками міцності. Характерною ознакою такого процесу може бути поглиблення делігніфікації сировини та збереження значної частини геміцелюлоз, які розподіляються приблизно рівномірно у товщі клітинної стінки, що сприяє набухання і подальшому якісному внутрішньому і зовнішньому фібрилюванню. У результаті це призводить до утворення та збереження міцних водневих зв'язків, які знаходяться на рівні лужних напівфабрикатів.

Отримані волокнисті напівфабрикати за різної тривалості варіння з використанням АХ та без нього, використовували для виготовлення картону.

Для визначення показників міцності картону волокнисті напівфабрикати розмелювали до 40 °ШР та виготовляли лабораторні зразки картону масою 200г/м² у відповідності до методик ТАРРІ Т 220 [19].

Після проведення ряду досліджень та оброблення даних отримано фізико-механічні характеристики досліджуваних зразків картону. На основі аналізу експериментальних даних побудовано діаграми для кожного виду картону від якості отриманих напівфабрикатів у залежності від тривалості варіння та використання антрахінону (рис. 5–8).

Картон для споживчого пакування. Для більшості видів картону жорсткість є однією з основних характеристик, оскільки упаковка, що виготовляється з картону виконує функцію захисту.

Під жорсткістю картону прийнято розуміти його опір деформаціям, що виникають під впливом зовнішніх сил і навантажень. Жорсткість картону визначається його товщиною та пружними властивостями вихідної сировини. Показники якості картону для споживчого пакування показано на рис. 5.

Як видно з діаграми, найбільшою жорсткістю характеризуються напівфабрикати у вигляді напівцелюлози з вищим вмістом лігніну, тобто отримані за нетривалого варіння. У даному випадку лігнін виступає армувальним матеріалом, надає жорсткості волокну і перешкоджає деформаціям, що виникають від статичних та динамічних навантажень у процесі експлуатації картону. За основними показниками, які висуваються для картону для споживчого пакування, всі напівфабрикати забезпечують значення показників, а у деяких випадках перевищують їх у три рази [20].

Картон тарний. Жорсткість картону поряд з руйнівним зусиллям під час стиснення кільця (RCT,Н/мм) та зусиллям стиснення на коротку відстань (SCT,кН/м) відноситься до його деформаційних характеристик.

Картон тарний під час експлуатації піддається динамічним навантаженням та статичним, які обумовлені стисненням і розтягуванням.

Сутність методу руйнівного зусилля під час стиснення кільця (RCT, Н/мм) полягає у визначенні руйнівного зусилля під час осьового стиснення встановленої на ребро і звернутої в кільце смужки картону.

Метод стиснення на коротку відстань (SCT, кН/м) відображає реальне зусилля, необхідне для руйнування структур міжволоконних зв'язків (рис. 6).

Як видно із даних наведених на рис. 6 показники руйнівного зусилля під час стиснення кільця та зусилля стиснення на коротку відстань підвищуються зі збільшенням тривалості оброблення,

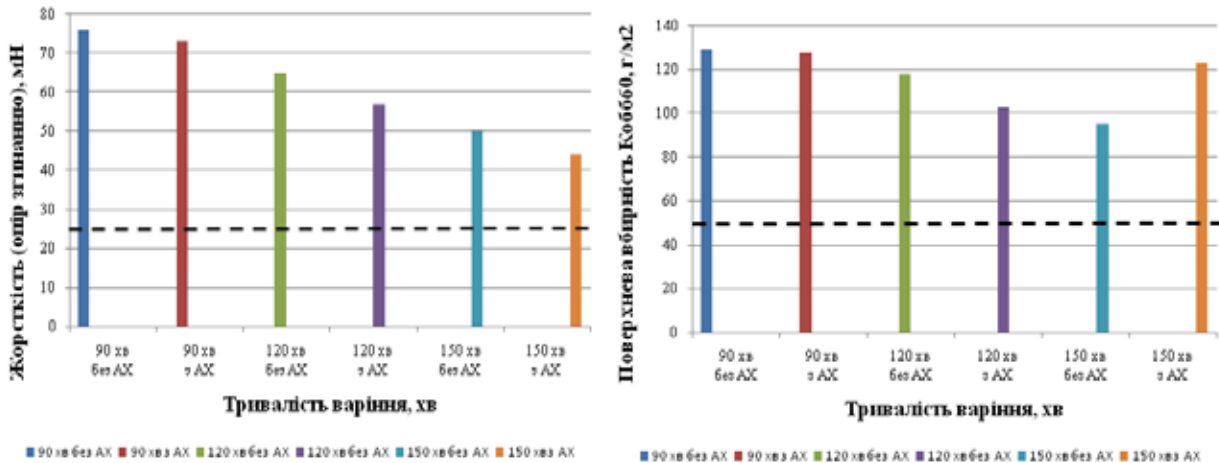


Рис. 5. Показники якості картону для споживчого пакування із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння з використанням каталізатора або без нього

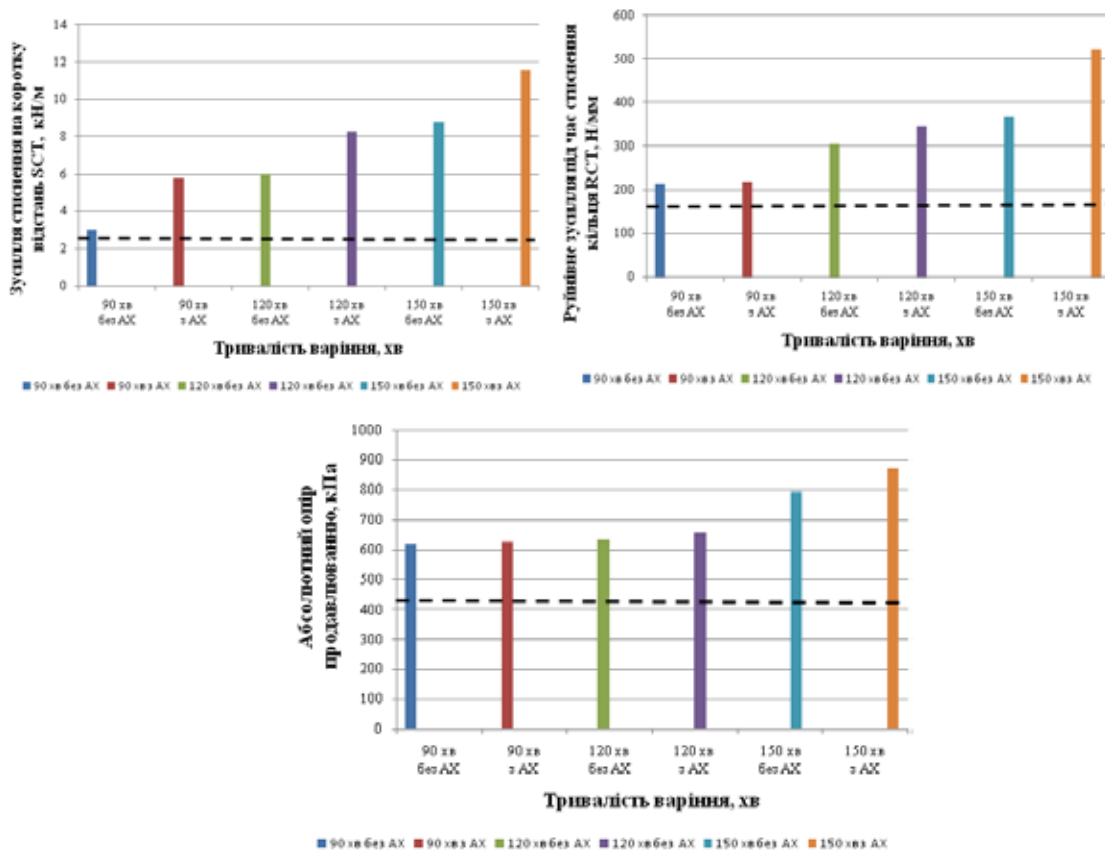


Рис. 6. Показники якості картону для споживчого пакування із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння в присутні каталізатора або без нього

а відповідно, поглиблення ступеня проварювання напівфабрикатів. Показник абсолютного опору продавлюванню відноситься до показників міцності і залежить, в основному, від гнучкості та еластичності волокон, що характеризуються меншим вмістом лігніну, їх довжиною. Його значення у всіх випадках перевищують показники запропонованого стандарту [20].

Картон для плоских шарів гофрокартону.

Картон для плоских шарів гофрокартону призначений для виготовлення пакувальної тари у вигляді ящиків або лотків для пакування овочів, фруктів та ін.

Чинними стандартами якості картону для плоских шарів гофрованого картону регламентується опором продавлюванню, міцність на злом під час багаторазових перегинів та руйнівним зусиллям під час стиснення кільця. Остання характеристика відображає здатність стінки картонної тари зберігати стійкість під впливом стискаючого навантаження та багато в чому визначає її споживчі характеристики.

Отримані значення порівнювали з показниками картону для плоских шарів гофрованого із первинних волокон (СТ СЭВ 1686-89) (рис. 7).

Як видно із діаграм, показники міцності картону прямопропорційно залежать від ступеня проварювання напівфабрикатів, з яких його виготовлено. Спостерігається закономірне зростання показників опору продавлюванню, руйнівного зусилля під час стиснення кільця, міцності на злом під час багаторазових перегинів із продовженням варіння та використанням каталізатора, що призводить до зниження вмісту залишкового лігніну у напівфабрикатах. Найбільший позитивний вплив у даному випадку позначається для показника руйнівного зусилля під час стиснення кільця, оскільки його значення підвищується у 2,5 рази у порівнянні із найменшою тривалістю варіння і без АХ. Опір продавлюванню за тих же умов підвищується приблизно на 30%.

Показник міцність на злом під час багаторазових перегинів характеризує здатність смужки зразка шириною 15 мм витримувати багаторазовий злом на кут 180°. Картон, виготовлений із напівфабрикатів, отриманих лужно-сульфітним

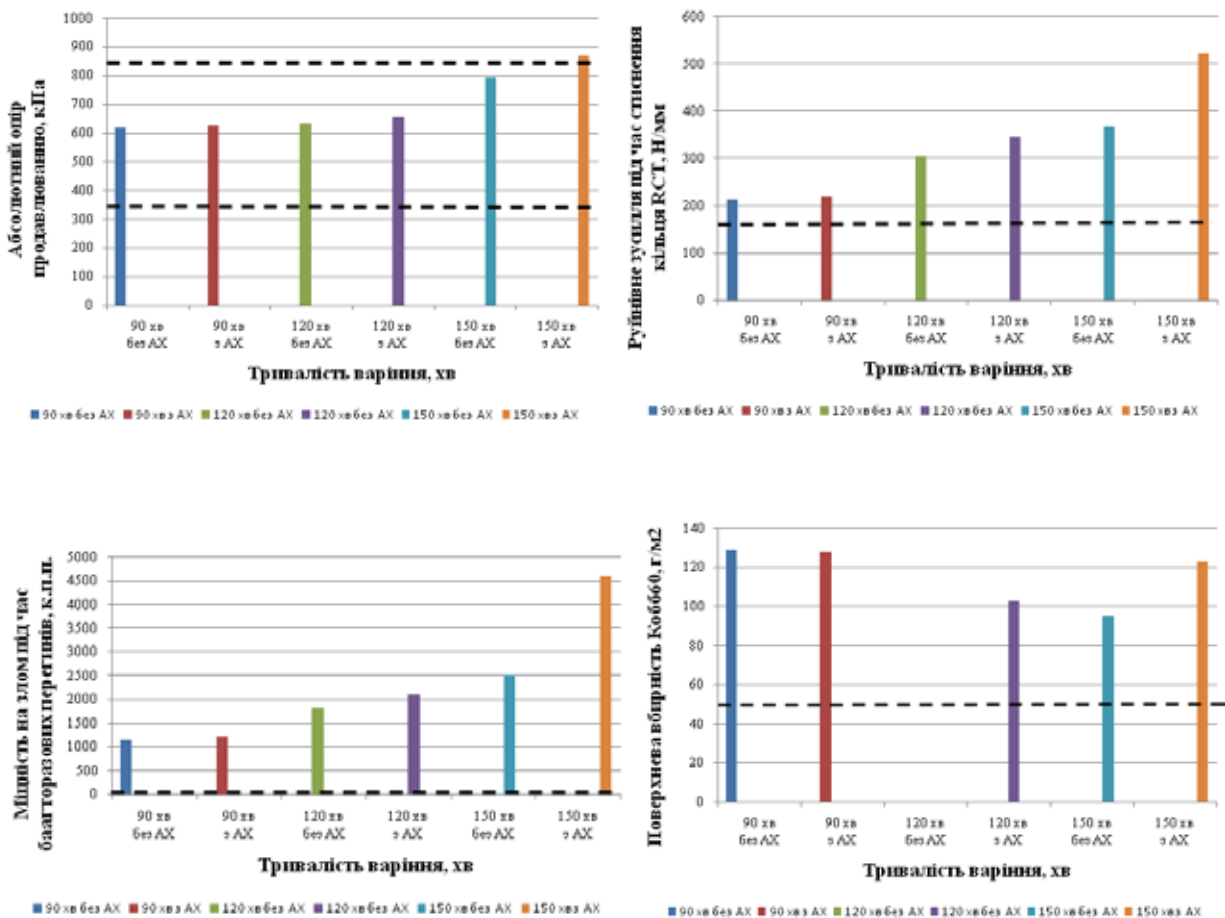


Рис. 7. Показники якості картону для плоских шарів гофрокартону із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння в присутні каталізатора або без нього

способом характеризується високими показниками злому в межах 1000–5000 к.п.п., що значно перевищують значення для марки КВС.

Такий характер зміни міцності картону залежить від ступеня проварювання напівфабрикатів, міцності окремих волокон, їх гнучкості та сил зв'язку між ними.

На рис. 8 показано візуалізацію лабораторних зразків картону.

Висновки. Показано глобальні трансформації у світовій целюлозно-паперовій галузі направлених на підвищення її конкурентноздатності. Досліджено хімічний склад Paulownia Clone in Vitro 112 і за отриманими даними охарактеризовано деревину як перспективний вид швидкозростаючих порід для перероблення на напівфабрикати. Запропоновано лужно-сульфітний спосіб варіння з використанням каталізатора та отриманням волокнистих напівфабрикатів у широкому діапазоні виходу. Доведено використання напів-



Рис. 8. Візуалізація лабораторних зразків картону, отриманих із волокнистих напівфабрикатів павловнії

фабрикатів з деревини павловнії отриманих лужно-сульфітним способом для виробництва картону для споживчого пакування, картону тарного макулатурного, картону для плоских шарів гофрокартону.

Список літератури:

1. The Effects of Paper Recycling and its Environmental Impact. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/16296> (date of appeal: 05.07.2011).
2. The Problems with Paper Recycling. URL: <https://www.worldcentric.com/journal/problems-with-paper> (date of appeal: 22.09.2021).
3. Benefits and Downsides of Waste Paper Recycling. URL: https://ebrary.net/192272/engineering/benefits_downsides_waste_paper_recycling.
4. Denysenko A.M., Yatsenko S.Y., Cheropkina R.I. On the way to raw materials independence. *Scientific progress: innovations, achievements and prospects: proceedings of the 1st International scientific and practical conference.* (October 9-11, 2022). Munich, Germany: MDPC Publishing. 2022. P. 99–103.
5. Production volume of paper and paperboard worldwide from 2010 to 2021, by type. URL: <https://www.statista.com/statistics/270317/production-volume-of-paper-by-type/> (date of appeal: 25.01.2023).
6. Pulp and Paper Industry 2022 Year in Review. URL: <https://www.fisheri.com/blog/pulp-and-paper-2022-year-in-review> (date of appeal: 20.12.2022).
7. Новини асоціації – УкрПапір. URL: <http://www.ukrpaper.org/news.php>.
8. Державна підтримка українського експорту: целюлозно-паперова промисловість України (2007 р.). URL: <http://www.ukrexport.gov.ua/ukr/p%0Arom/ukr/25.html>.
9. Загальнодержавна цільова програма розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року. URL: http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article;jsessionid=D944B63339CEEEAA38DF66524EE1F845?art_id=74110&cat_id=42148.
10. Ринок вторсировини страждає від незговірливості. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/rinok-vtorsirovini-strazhdaje-vid-uprjaistva-ukrajintsiv-1833401.html> (дата звернення: 12.09.2017).
11. B. Demuner and E. Claudio-da-Silva, Jr. Eucalyptus: Today's Preferred Short-fiber Pulp. *Chapter 6: Essays on Market Pulp.* P. 89–93. URL: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2005_Preferred_Short_fiber_Pulp.pdf.
12. Celso Foelkel. Advances in eucalyptus fiber properties and paper products. URL: https://www.researchgate.net/publication/237581805_Advances_in_eucalyptus_fiber_properties_and_paper_products.
13. Marcin Jakubowski. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests.* 2022. Vol. 13, № 5. P. 668. DOI: 10.3390/f13050668.
14. PAULOWNIA GROUP UKRAINE. PAULOWNIA CLONE IN VITRO 112®. URL: <http://paulowniagroup.com.ua/>.
15. Anna Stochmal, Barbara Moniuszko-Szajwaj, Malgorzata Szumacher-Strabel, Adam Cieslak. Paulownia Clon in vitro 112®: The tree of the future. *Journal of Nutrition & Food Sciences: 21st World Congress* (July 09-10, 2018). Sydney, Australia. 2018. Vol. 8. P. 33. DOI: 10.4172/2155-9600-C4-063.
16. А.М. Денисенко, С.Ю. Яценко, Р.І. Черьопкіна Павловнія для целюлозно-паперової промисловості Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство»

(20–21 травня м. Київ, Україна, 2021 р.)/ Укладач Д. Е. Бенатов. К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. С. 153–156.

17. Szabolcs Koman, Sandor Feher. Physical and mechanical properties of Paulownia clone in vitro 112. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2020. Vol. 78, № 2. P. 421–423. DOI: 10.1007/s00107-020-01497-x.

18. Мацкевич О.В., Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Андрієвський В.В. Павловнія: науково-практичний посібник. Біла Церква: БНАУ, 2019. 80 с.

19. TAPPI test methods. Tappi Press. Atlanta, Georgia. 2004.

20. ТУ У 21.1-05509659-031:2012. Картон для споживчого пакування. Обухів: ПАТ «Київський картоно-паперовий комбінат». 2016.

21. ТУ У 21.1 05509659-026:2005. Картон тарний макулатурний. Обухів: ПАТ «Київський картоно-паперовий комбінат». 2005.

Cheropkina R.I., Yatsenko S.Yu., Denysenko A.M. RECEIVING CARDBOARD FROM SEMI-FINISHED PAULOWNIA WOOD

According to the results of the analysis of the development of the world market of cardboard and paper products, trends have been formed regarding the increase in the production of the current types of paper and cardboard. The disadvantages of using waste paper as the main raw material in the production of cardboard and solving the problem by adding the primary fiber of hardwoods are considered. The exceptional role of fast-growing wood species in producing fibrous semi-finished products, which increase the competitiveness of the pulp and paper industry, is noted. The chemical composition of Paulownia Clone in Vitro 112® was studied and the prospects of its use as a full-fledged source of raw materials for CPV were proven. Based on paulownia's chemical composition, a modified sulfite method of processing wood in a slightly alkaline environment is proposed. The effect of cooking duration and the use of an anthraquinone catalyst on the quality indicators of semi-finished products was studied. The effectiveness of cooking paulownia wood by the alkaline-sulfite method is proven by the results of obtaining semi-finished products from semi-cellulose to high-yield cellulose with strength indicators similar to alkaline fibrous semi-finished products. Based on the results of the research, directions for the use of the obtained semi-finished products were formed, which coincide with world trends in the manufacture of packaging types of products. It has been experimentally proven that semi-cellulose obtained by short-term cooking is characterized by increased rigidity, which best provides the properties of cardboard for consumer packaging. It is shown that fibers with a low lignin content, obtained by long-term cooking of paulownia, as well as in the presence of anthraquinone, according to physical and mechanical parameters, are a complete raw material for the production of packaging waste paperboard and cardboard for flat layers of corrugated cardboard. Cultivation of the fast-growing variety Paulownia Clone in Vitro 112® and the use of wood for processing into fibrous semi-finished products is a promising practical direction, the implementation of which will help in the search for scarce leafy raw materials. The obtained research results can be useful for the pulp, paper industry, and forestry.

Key words: Paulownia Clone in Vitro 112®, alkaline-sulfite cooking, semi-cellulose, high-yield cellulose, cardboard.