

УДК 676.163.2/163.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/27>**Денисенко А.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Черьопкіна Р.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ЛУЖНО-СУЛЬФІТОВОГО СПОСОБУ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ

У статті досліджено можливість використання лужно-сульфітного способу для перероблення деревини павловнії клону *Paulownia Clone in Vitro 112*® на волокнисті напівфабрикати. Роботами показано переваги застосування нейтрально-сульфітного способу для перероблення листяних порід деревини. Перспективним на сьогоднішній день вважається максимальне використання місцевих ресурсів, до яких впевнено можна віднести широке культивування швидкозрослої деревини павловнії. Одночасно вагомого значення набуває вибір способу перероблення деревини, який полягає у модифікації класичних способів отримання ВНФ за рахунок зміни дозування у складі розчинів хімічних реагентів для регулювання всього діапазону рН. У роботі запропоновано модифікувати моносульфітний спосіб варіння за рахунок підвищення лужності розчину натрій гідроксидом, а також використанням антрахінону у кількості 0,1 % від маси абсолютно сухої сировини.

Досліджено вплив технологічних параметрів варіння на показники якості отриманих ВНФ. Показано вплив концентрації 35, 40 та 45 г/л всього SO_2 від маси абс. сух. деревини, тривалості варіння – 90, 120 та 150 хв та наявності каталізотара за кінцевої температури 170°C на показники міцності отриманих напівфабрикатів.

У результаті лужно-сульфітного варіння отримано напівфабрикати у широкому діапазоні виходу. Показано позитивний вплив на делігніфікацію деревини одночасного використання розчину підвищеної концентрації всього SO_2 , максимальної тривалості та антрахінону, що призводить до отримання добре делігніфікованого напівфабрикату у вигляді целюлози підвищеного виходу.

Відмінною особливістю отриманих лужно-сульфітних напівфабрикатів є високі фізико-механічні показники, особливо показник міцності на злом під час багаторазових перегинів, які можна порівнювати з показниками целюлози з хвойних порід деревини.

За допомогою повного факторного експерименту типу 2^2 визначено оптимальні умови делігніфікації з та без використання АQ, які становлять: а) концентрація всього SO_2 44,9 г/л і тривалість 130,8 хв; б) концентрація всього SO_2 40 г/л і тривалість 144,7 хв. Встановлено показники якості напівфабрикатів, отриманих лужно-сульфітним способом в точках оптимуму методом багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона, відповідно: вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини – 66,01 і 64,76; масова доля лігніну, % – 12,13 і 10,63; розривна довжина, м – 9999 і 10972; опір роздиранню, мН – 501 і 573; абсолютний опір продавлюванню, кПа – 399 і 412; міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. – 2285 і 1440.

Отже, на основі здійснених експериментальних досліджень показано ефективність використання лужно-сульфітних умов проведення делігніфікації деревини павловнії. Встановлено отримання напівфабрикатів зі значно вищими показниками міцності, у порівнянні з нейтральними умовами проведення процесу, що суттєво розширює сфери їх застосування.

Ключові слова: *Paulownia Clone in Vitro 112*®, лужно-сульфітне варіння, волокнистий напівфабрикат, фізико-механічні показники, математична модель.

Постановка проблеми. Основною метою процесів делігніфікації рослинної сировини є видалення лігніну без негативного впливу на вуглеводи. Далі постає завдання запропонувати методи підвищення виходу та міцності целюлози опираючись на наявні в літературі дані.

Перевалюючим фактором технології є вибір способу хімічного перероблення рослинної сировини з метою забезпечення екологічності виробництва.

Розвиток технологій делігніфікації відноситься до трудомістких процесів і це частково

обумовлює поєднання різних методів та реагентів для отримання високоякісних напівфабрикатів.

Важливим є досконале знання хімічних властивостей сировини, морфологічної будови рослинних клітин та їх ультрамікроструктури, що суттєво полегшує розуміння різних перетворень, які відбуваються в процесі делігніфікації. На базі цього вченими показано застосування різних модифікацій промислових способів отримання целюлози, в тому числі і сульфатних [1, 2]. Нині сульфатні способи у поєднанні із різними лужними реагентами характеризуються високою гнучкістю для регулювання всього діапазону рН за рахунок зміни дозування у складі хімічних реагентів у порівнянні з сульфатним методом.

Активним реагентом нейтрально-сульфатного процесу є Na_2SO_3 , отриманий розчиненням SO_2 в розчині кальцій карбонату (Na_2CO_3). Кальцій карбонат у розчині відіграє роль лужного буфера з початковим значенням рН біля 9,0. Завдяки буферній функції Na_2CO_3 , що залишається у варильному розчині, можна підтримувати значення рН варильного розчину на рівні 7–8. Однак додавання у розчин моносольфату натрію (Na_2SO_3) натрію гідроксиду (NaOH) досягається рН розчину в межах 10–13,5, що дозволяє отримувати більш лужне середовище. До основних переваг такого розчину, у порівнянні із класичним нейтрально-сульфатним, можна віднести прискорення просочування сировини та швидкість розчинення лігніну [3].

Ранніми дослідженнями також показано, що у слаболужному та лужному середовищі ефективним є використання антрахінону (AQ), який відноситься до безсірковмісних каталізаторів, значно дешевший та широко застосовується в целюлозно-паперовій промисловості, ніж, до прикладу, гідразин, гідроксиламін чи борогідрид натрію [4]. Застосування такого поєднання дозволяє підвищити вихід напівфабрикатів та зменшити вміст лігніну в них, знизити вміст органічних речовин у відпрацьованому розчині та зменшити кількість непровару. Целюлоза, отримана в результаті делігніфікації в слаболужному середовищі в присутності AQ за показниками міцності може конкурувати з крафт-целюлозою [1, 2, 4].

У разі застосування розчинів для проведення лужно-сульфатного варіння процес більш універсальний і у випадку застосування більш жорстких умов можна досягати поглибленої делігніфікації. У цьому випадку реакції делігніфікації базуються на дії як сульфатних, так і гідроксильних іонів, що обумовлює утворення в процесі лігносульфонатів та лужного лігніну.

Суть процесу полягає у сульфуванні та частковому розчиненні лігніну у вигляді солей лігносульфонових кислот. Варильний розчин має певну буферність, що дозволяє зберігати його рН достатньо високим 7,2–11,0 під час всього процесу варіння. Завдяки збереженню вмісту геміцелюлоз спостерігається підвищення виходу волокнистого напівфабрикату (ВНФ) із сировини. У нейтральному середовищі сульфування і розчинення лігніну відбувається значно повільніше, що спонукає проводити процес варіння за високих температур в межах 170–190°C [3]. З підвищенням лужності розчинів досягається покращення просочування сировини і швидке розчинення лігніну, що компенсує високі температури та тривалість просочування.

Дефіцит деревини в останні десятиліття міцно закріпив тенденцію до використання недеревної сировини у вигляді відходів рослинного походження, або плантаційного вирощування для отримання волокнистих напівфабрикатів [5]. З іншого боку, занепокоєння щодо сталого майбутнього постачання первинних волокон також стимулює целюлозно-паперову промисловість до пошуку нових джерел сировини. Саме тому вже як біля 10 років вченими з усього світу ведуться різного роду дослідження доцільності використання швидкорослої деревини павловнії в якості джерела первинних волокон і результати відверто вражають [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність застосування методів делігніфікації сировини, в основному, залежить від досконалості дослідження конкретних технологічних умов проведення процесу до відповідної рослинної сировини.

Не дивлячись на критичне ставлення до застосування нейтрально-сульфатного способу делігніфікації сировини, його всебічно вивчають і сьогодні [7, 8, 9]. Так, науковцями у Познані в 2018 році було проведено ряд лабораторних досліджень застосування цього способу до *Miscanthus Giganteus*. У всіх випадках варіння проводили з використанням нейтрально-сульфатних розчинів за концентрацій Na_2SO_3 97,97 г/дм³ і 165,06 г/дм³ та, відповідно, Na_2CO_3 66,04 г/дм³ та 72,08 г/дм³, за рН 12,08 та 12,94, які максимально наближені до промислових умов. Дослідження проводили без просочення та з просоченням за температури 140 °C 15 хв і подальшим підйомом до максимальної температури в 174 °C та варінням протягом 15 та 30 хв. Перед стадією просочення додавали відпрацьований щолок щільністю 1,035 г/см³. Масові співвідношення рідини до деревини

досліджувалися у діапазоні від 2 до 5 [7, 8, 9]. В результаті досліджень показано, що використання підвищених витрат SO_2 в лабораторних умовах дозволило легше провести рафінування волокнистих зразків з подальшим визначенням показників міцності.

Традиційно в останні десятиліття целюлоза з евкаліпту займає одне з провідних позицій у загальному об'ємі її виробництва. Однак пошук способів удосконалення процесів з метою підвищення виходу напівфабрикатів з евкаліпту продовжується, в тому числі і з використанням нейтрально-сульфітного.

Вчені, базуючись на глобальних дослідженнях та досвіді виробництва целюлози з деревини евкаліпта досліджували отримання нейтрально-сульфітних напівфабрикатів з *Eucalyptus Camaldulensis* [5]. Для варіння використовували розчин натрій сульфїту і натрій бікарбонату за трьох різних концентрацій основних реагентів 10, 14 і 18 % від маси абсолютно сухої сировини. Підйом температури до кінцевої 170 °C проводили за 30 хв та подальшим варіння за постійної температури 90 хв. Співвідношення рідини до деревини складало 7 : 1. У подальшому виготовляли відливки масою 127 г/м² [5]. Показано, що вихід целюлози зменшується зі збільшенням концентрації активного реагенту. Механічні властивості отриманих нейтрально-сульфітних ВНФ за всіма показниками міцності мають перевагу у порівнянні з целюлозою з листяних порід деревини, отриманих за даних умов [5].

У зв'язку з необхідністю вирішення різного роду екологічних проблем в технології, сьогодні дослідження спрямовані на пошук таких способів виробництва целюлози, які б задовольняли поставлені задачі. Аналіз досліджень і публікацій за останні 5 років показує, що одним із таких способів є моноссульфітний, який піддається модифі-

кації з метою забезпечення екологічних та економічних цілей [6].

Нами раніше вже показано ефективність перероблення деревини павловнії у слаболужному середовищі з отриманням напівфабрикатів придатних для виготовлення різних видів картону [10].

Метою статті є дослідження технологічних параметрів процесу делігніфікації деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* у лужно-сульфітному середовищі з отриманням ВНФ з високими показниками міцності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження використано однорічний зразок павловнії клону *Paulownia Clone in Vitro 112®*, вирощеного у Любашівському районі Одеської області у вигляді трісок, хімічний склад якого показано у ранніх публікаціях [6, 10]. Варіння трісок проводили моноссульфітом на натрієвій основі за концентрації всього SO_2 у варильному розчині 35, 40 та 45 г/л з додаванням у розчин натрій гідроксиду в кількості 4 г/л, що забезпечувало рН 11, без та з додаванням АQ у кількості 0,1 % від маси абс. сух. сировини, за максимальної температури 170°C, тривалості – 90, 120 та 150 хв та ГМ = 1 : 5. В отриманих ВНФ визначали вихід із деревини та ступінь делігніфікації. ВНФ піддавали розмелюванню до 60 °ШР і з них виготовляли лабораторні зразки масою 75 г/м², згідно стандартної методики [6]. Всі зразки піддавали кондиціонуванню за відносної вологості повітря 65±2 %, температури 20±5 С та визначали наступні показники міцності: розривну довжину, м, (ДСТУ 13525.1 (ISO 2758:1996)); абсолютний опір продавлюванню, кПа, (ДСТУ 13525.8 (ISO 2758/2759)); опір роздиранню, мН, (ДСТУ 3368-96 (ISO 1974-90)); міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. (ДСТУ 3476-96 (ISO 5626-93)) [6].

Результати впливу тривалості варіння та концентрації всього SO_2 , а також використання катализатора на якість отриманих напівфабрикатів наведено на рис. 1.

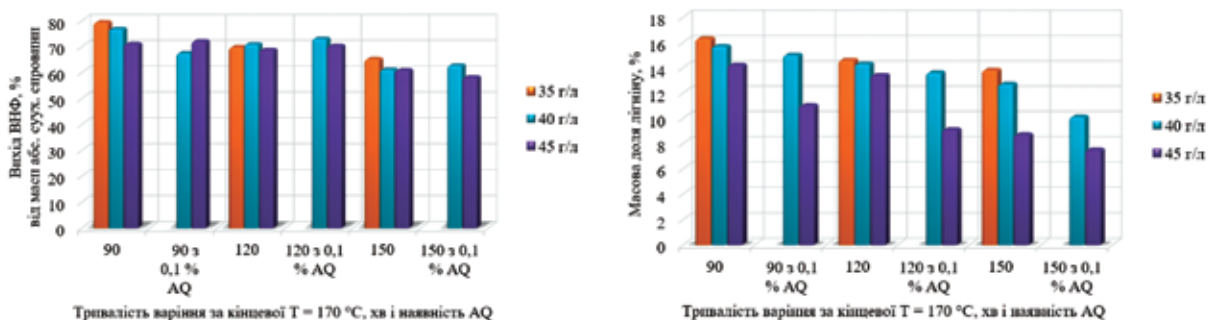


Рис. 1. Залежність виходу та масової доли лігніну у ВНФ з деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* від концентрації всього SO_2 , тривалості варіння та наявності АQ за температури 170°C

Як видно з графічних залежностей (рис. 1) зі збільшенням концентрації активного реагенту, тривалості процесу делігніфікації та наявності AQ вихід ВНФ знижується від 79,4 % до 58,2 %. Дані технологічні фактори позитивно впливають на вміст залишкового лігніну у ВНФ, масова доля якого знижується від 16,3 % до 7,5 % від маси абс. сух. сировини. З підвищенням рН моносульфітного розчину покращується просочення сировини та пришвидшуються процеси розчинення лігніну, що призводить до зниження вмісту лігніну в отриманому напівфабрикаті та, відповідно, виходу. Однак у випадку використання AQ в якості катализатора процесу за однакових умов відбувається стабілізація вуглеводної частини, що відображається на підвищеному виході ВНФ (приблизно на 2 %) та зниженому вмісту лігніну. Спостерігається позитивний вплив на делігніфікацію одночасного використання розчину підвищеної концентрації всього SO₂, максимальної тривалості та AQ, що призводить до отримання добре делігніфікованого напівфабрикату у вигляді целюлози підвищеного виходу.

У випадку лужно-сульфітного варіння процес набагато універсальніший і за умови використання більш жорстких умов отримано поглиблену делігніфікацію.

Цінність ВНФ та сфери їх застосування головним чином залежать від їх фізико-механічних властивостей.

Показники міцності одержаних ВНФ з павловнії у лужно-сульфітному середовищі наведено на рис. 2.

Із наведених на рис. 2 даних видно, що зі збільшенням тривалості варіння та концентрації всього SO₂ показники міцності напівфабрикатів зростають, особливо міцність на злом під час багаторазових перегинів, опір продавлюванню та роздиранню за концентрації варильного розчину в межах 45 г/л. Відмінною особливістю даних напівфабрикатів є підвищені показники міцності на злом під час багаторазових перегинів, які досягають значень більше 5500 к.п.п. в окремих випадках, що наближається до показників целюлози хвойних порід деревини.

Якісні властивості ВНФ в основному залежать від якості та кількості геміцелюлоз, що містяться в них. Листяні породи деревини характеризуються високим вмістом геміцелюлоз, які розподіляються на поверхні фібрил і легко піддаються набухання, в результаті чого структура волокна розрихлюється. Оболонка волокна пластифікується водою і вона стає більш гнучкою і пластичною. Під час розмелювання відбувається поверхневе фібрилювання, що призводить до збільшення поверхні волокна і його здатності до утворення міжволоконних зв'язків. Під час внутрішнього фібрилювання підвищується гнучкість і пластичність волокон за рахунок набухання геміцелюлоз у міжфібрилярному просторі, що надає йому здатності до утворення міжволоконних зв'язків, не знижу-

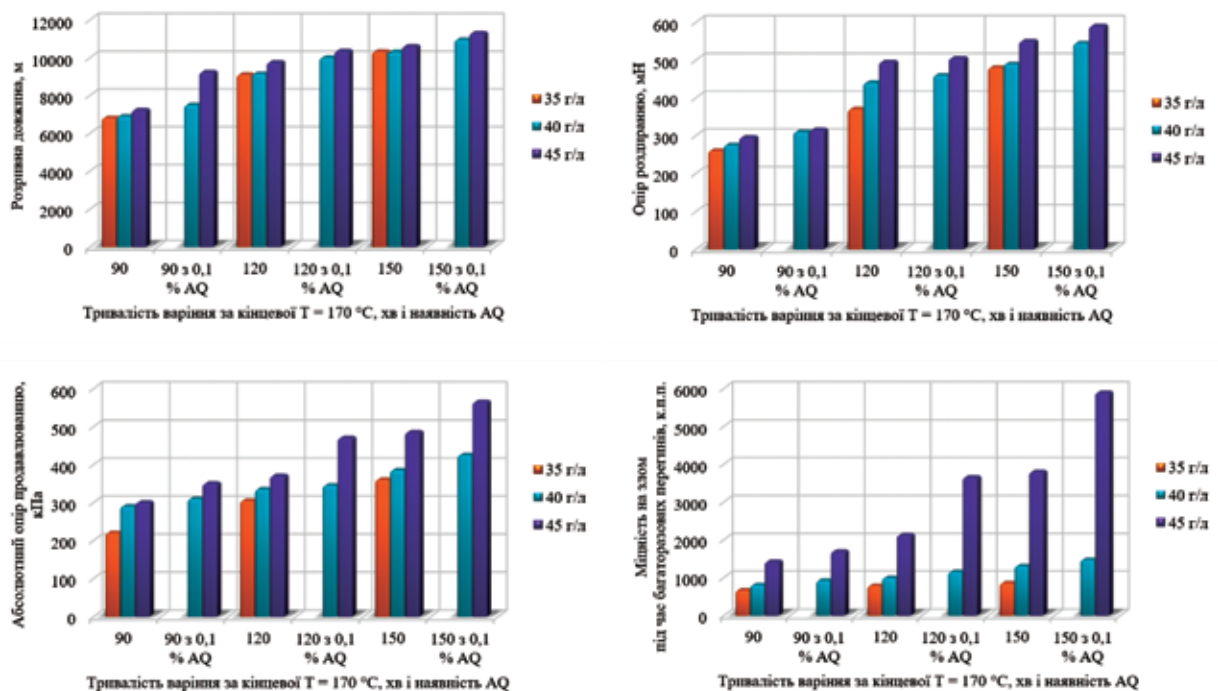


Рис. 2. Залежність фізико-механічних показників отриманих ВНФ з деревини Paulownia Clone in Vitro 112® від концентрації варильного розчину, тривалості варіння та наявності AQ за температури 170°C

ючи міцності самого волокна. Високі значення показників міцності частково можна пояснити тим, що в лужних умовах делігніфікації волокна менш пошкоджені, з меншою кількістю мікротріщин, а значить більш міцніші, що підтверджується проведеними дослідженнями.

Пошук оптимальних значень параметрів проведення технологічних процесів лужно-сульфітного варіння павловнії з побудовою оптимальної області було здійснено використовуючи програму «STAT – SENS» [11, 12]. За допомогою повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^2 визначено оптимальні умови делігніфікації деревини павловнії у лужно-сульфітному середовищі без та з додавання AQ в якості катализатора процесу. В якості факторів x_1 , що впливають на показники якості лужно-сульфітного ВНФ досліджено:

- концентрація всього SO_2 , г/л від маси абс. сух. сировини (x_1);
- тривалість варіння за кінцевої $T = 170^\circ C$, хв і наявність Кат (x_2);

В якості параметрів оптимізації обрано наступні показники якості:

- вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини (Y_1);
- масова доля лігніну, % (Y_2);
- розривна довжина, м (Y_3);
- опір роздиранню, мН (Y_4);
- абсолютний опір продавлюванню, кПа (Y_5);
- міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. (Y_6).

Керуючись статистичною обробкою експериментальних даних отримано рівняння регресії (в кодованій формі), які дозволяють адекватно описати залежності вихідних даних від обраних показників якості:

1) лужно-сульфітне середовище:

- вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини:

$$Y_1 = 102,61 + 0,37668x_1 - 0,29111x_2 + 0,0068333x_1x_2 - 0,020667x_1^2 - 0,00085186x_2^2$$

- масова доля лігніну, %:

$$Y_2 = -46,344 + 2,6667x_1 + 0,28111x_2 - 0,005x_1x_2 - 0,029333x_1^2 - 0,00059259x_2^2$$

- розривна довжина, м:

$$Y_3 = 1036,8 - 519x_1 + 237,11x_2 - 0,23333x_1x_2 + 7,4x_1^2 - 0,71111x_2^2$$

- опір роздиранню, мН:

$$Y_4 = -322,76 - 20,667x_1 + 13,055x_2 + 0,058333x_1x_2 + 0,26667x_1^2 - 0,048148x_2^2$$

- абсолютний опір продавлюванню, кПа:

$$Y_5 = 321,1 - 10,667x_1 - 1,5555x_2 + 0,075x_1x_2 + 0,13333x_1^2 + 0,0037037x_2^2$$

- міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п.:

$$Y_6 = 49319 - 2113,6x_1 - 174,84x_2 + 3,6317x_1x_2 + 23,06x_1^2 + 0,19389x_2^2$$

2) лужно-сульфітне середовище з додаванням AQ:

$$Y_1 = 254,35 - 7,3046x_1 + 0,48873x_2 - 0,0017524x_1x_2 + 0,05736x_1^2 - 0,0023764x_2^2;$$

$$Y_2 = 52,886 - 1,2804x_1 - 0,025497x_2 + 0,00026667x_1x_2 + 0,00908x_1^2 - 0,00016327x_2^2;$$

$$Y_3 = 32714 - 1016,4x_1 + 73,793x_2 - 0,26286x_1x_2 + 8,14x_1^2 - 0,15601x_2^2;$$

$$Y_4 = 1495,9 - 50,29x_1 + 4,9401x_2 + 0,007619x_1x_2 + 0,386x_1^2 - 0,01542x_2^2;$$

$$Y_5 = 1433,7 - 42,204x_1 - 0,020408x_2 + 0,019048x_1x_2 + 0,326x_1^2 + 0,0018141x_2^2;$$

$$Y_6 = 8499,3 - 266,12x_1 - 29,116x_2 + 0,69524x_1x_2 + 1,92x_1^2 + 0,03356x_2^2.$$

Аналізуючи отримані рівняння можна зробити висновок, що концентрація варильного розчину несе найбільший вплив на показники якості отриманих ВНФ в обох випадках. Дані рівняння дозволяють визначити оптимальні параметри проведення процесу делігніфікації деревини клону павловнії. За оптимальну точну x_{opt} взято такі значення x_1 , які найбільше задовольняють значення компромісної моделі для значення Y_1 .

У точці оптимуму значення факторів x_1 та x_2 (в натуральних одиницях) наступні:

1) слаболужне варіння:

- x_1 (концентрація SO_2 , г/л від маси абс. сух. сировини) = 44,9

- x_2 (тривалість варіння за кінцевої $T (= 170^\circ C)$, хв) = 130,8

2) слаболужне варіння з AQ:

- $x_1 = 40$ г/л;

- $x_2 = 144,7$ хв.

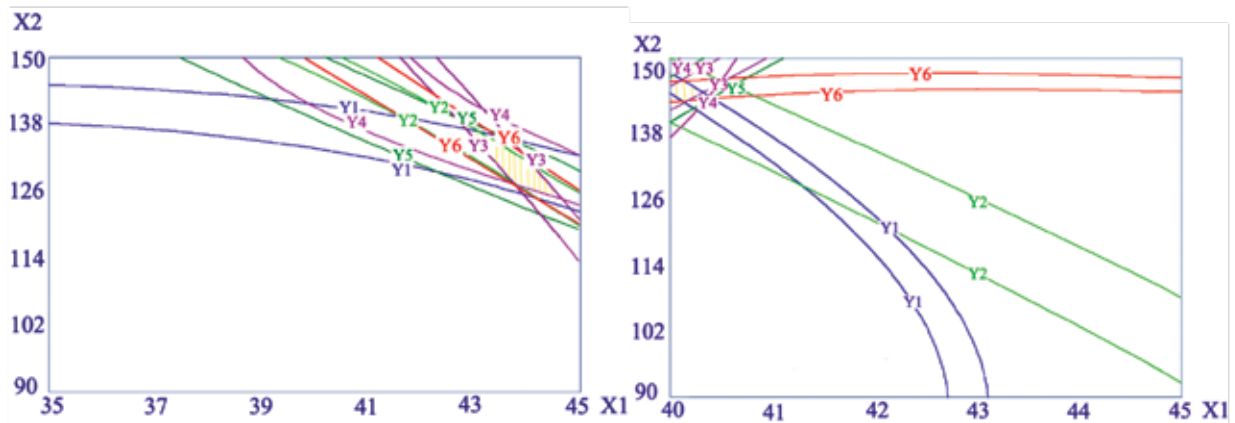
Компромiсну область проведення процесу делігніфікації *Paulownia Clone in Vitro 112*® в залежності від основних технологічних факторів визначено за допомогою методу багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона ($D = 0,65; 0,63$) для отриманих рівнянь регресії $Y_1 - Y_6$ в обох випадках, відповідно, та наведено на рис. 3.

У точці оптимуму показники якості лужно-сульфітних ВНФ наступні:

1) без додавання AQ:

- Y_1 (вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини) = 66,01

- Y_2 (масова доля лігніну, %) = 12,13



1 2

Рис. 3. Компромiсна область проведення процесу делiгнiфiкацiї *Paulownia Clone in Vitro 112®* у лужно-сульфiтному середовищi без (1) та з додаванням АQ (2): Y_1 – вихiд ВНФ, % вiд маси абс. сух. сировини; Y_2 – масова доля лiгнiну, % вiд маси абс. сух. сировини; Y_3 – розривна довжина, м; Y_4 – опiр роздиранню, мН; Y_5 – абсолютний опiр продавлюванню, кПа; Y_6 – мiцнiсть на злом пiд час багаторазових перегинiв, к.п.п.

- Y_3 (розривна довжина, м) = 9999
- Y_4 (опiр роздиранню, мН) = 501
- Y_5 (абсолютний опiр продавлюванню, кПа) = 399
- Y_6 (мiцнiсть на злом пiд час багаторазових перегинiв, к.п.п.) = 2285

2) з додаванням АQ:

- Y_1 = 64,76 %;
- Y_2 = 10,63 %;
- Y_3 = 10972 м;
- Y_4 = 537 мН;
- Y_5 = 412 кПа;
- Y_6 = 1440 к.п.п.

Висновки. Питанню перероблення швидкорослої деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* з метою отримання ВНФ ще не достатньо придiлено уваги.

Частково цю проблему можна вирiшити застосуванням лужно-сульфiтного способу до переваг якого, треба вiднести екологiчнiсть процесу у порiвняннi з сульфатним та нейтрально-сульфiтним. За рахунок пiдвищення рН розчину, наявностi сульфiтних та гiдроксильних iонiв досягається поглиблення делiгнiфiкацiї, стабiлiзацiя вуглеводiв, що дозволяє отримувати напiвфабрикати з високими показниками мiцностi.

Використовуючи ПФЕ типу 2² було визначено оптимальнi технологiчнi параметри для дослідження лужно-сульфiтних способiв варiння, а методом багатокритерiальної оптимiзацiї з використанням функцiї бажаностi Харiнгтона – компромiсну область проведення процесу делiгнiфiкацiї.

Список лiтератури:

1. M.T. Paridah, Amin Moradbak, A.Z. Mohamed, Folahan Abdulwahab Taiwo Owolabi, Mustapha Asniza and H.P. Shawkataly Abdul Khalil. Alkaline Sulfite Anthraquinone and Methanol (ASAM) Pulping Process of Tropical Bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). *Bamboo – Current and Future Prospects* / Abdul Khalil H.P.S. Malaysia, 2018. P. 9–24.
2. Aliye Keskin-Schneider. Engineering Reaction Kinetics in Sulfite and Sulfite-Antraquinone Pulping. Canada: Department of Chemical Engineering McGill University, Montréa, Québec, 1991. 225 p.
3. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М., Барбаш В.А. Технологія недеревних волокнистих напiвфабрикатiв: пiдручник для студ. спецiальностi 161 «Хiмiчнi технологiї та iнженерiя», освiтньо-професiйної програми «Промислова екологiя та ресурсоефективнi чистi технологiї». Київ: КПІ ім. Iгоря Сiкорського, 2021. 231 с.
4. Mohd Hassan, N.H., Mohammad, N.A., Ibrahim, M., Mohd Yunus, N.Y., Sarmin, S.N. Soda-anthraquinone pulping optimization of oil palm empty fruit bunch. *BioResources*. 2020. Vol. 15, № 3. P. 5012–5031. DOI: 10.15376/biores.15.3.5012-5031.
5. Hamidreza Rudi1, Majid Kiaei, Ahmad Samariha. Production of NSSC Cellulosic Pulp Fibers from Eucalyptus Cameldulensis. *Academic Journal of Polymer Science*. 2019. Vol. 2, № 5. P. 119–125. DOI: 10.19080/AJOP.2019.02.555596.
6. Denysenko A.M., Yatsenko S.Yu., Cheropkina R.I. On the way to raw materials independence. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects”* (October 9-11, 2022) MDPC Publishing, Munich, Germany. Munich, 2022. P. 99–103.

7. Krzysztof Joachimiak, Renata Wojech, Adam Wójciak. Comparison of Miscanthus Giganteus and Birch Wood NSSC Pulping. Part I: the Effects of Technological Conditions on Certain Pulp Properties. *Wood Research*. 2019. Vol. 64, № 1. P. 49–58.
8. Jan Bocianowski, Ewa Fabisiak, Krzysztof Joachimiak, Adam Wójciak. NSSC Pulping of Miscanthus Giganteus and Birch Wood. Part 2: a Comparison of Papermaking Potential and Strength Properties. *Wood Research*. 2019. Vol. 64, № 2. P. 281–292.
9. Jan Bocianowski, Ewa Fabisiak, Krzysztof Joachimiak, Renata Wojech, Adam Wójciak. Miscanthus Giganteus as an Auxiliary Raw Material in NSSC Birch Pulp Production. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2019. Vol. 53, № 3–4. P. 271–279.
10. Черьопкіна Р.І., Яценко С.Ю., Денисенко А.М. Отримання картону із напівфабрикатів деревини павловнії. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ, 2023. Том 34 (73), № 2. С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/11>.
11. Барбаш В.А., Дейкун І.М. Оптимізація процесу одержання целюлози для хімічної переробки натронним способом з попереднім гідролізом. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2003. № 1. С. 74–78.
12. Статюха Г.О., Складаний Д.М. Планування оптимального експерименту: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Київ: Політехніка, 2004. 36 с.

Denysenko A.M., Cheropkina R.I. USING THE ALKALINE-SULFITE METHOD FOR PROCESSING PAULOWNIA WOOD

The article examines the possibility of using the alkaline-sulfite method for processing Paulownia Clone in Vitro I12® wood into fibrous semi-finished products. The works show the advantages of using the neutral-sulfite method for the processing of hardwood species. To date, the maximum use of local resources is considered to be promising, which includes the widespread cultivation of fast-growing paulownia wood. At the same time, the choice of the wood processing method is of great importance, which consists in modifying the classic methods of obtaining fibrous semi-finished products by changing the dosage in the composition of chemical reagent solutions to regulate the entire pH range. The paper proposes to modify the monosulfite cooking method by increasing the alkalinity of the sodium hydroxide solution, as well as by using anthraquinone in the amount of 0.1% by weight of the abs. dry raw materials.

The influence of the technological parameters of cooking on the quality indicators of the obtained fibrous semi-finished products was studied. The influence of the concentration of 35, 40, and 45 g/l of total SO₂ on the mass of abs. dry of wood, duration of cooking – 90, 120, and 150 min, and the presence of a catalyst at a final temperature of 170 °C on the strength indicators of the obtained semi-finished products.

As a result of alkaline-sulfite cooking, semi-finished products with a wide range of yield were obtained. The positive effect on wood delignification of the simultaneous use of a solution with an increased concentration of all SO₂, maximum duration, and AQ was shown, which leads to obtaining a well-delignified semi-finished product in the form of cellulose with an increased yield.

A distinctive feature of the obtained alkali-sulfite semi-finished products is high physicomechanical indicators, especially the index of breaking strength during repeated bending, which can be compared with the indicators of cellulose from coniferous wood species.

Using a full factorial experiment of type 2², the optimal conditions of delignification with and without the use of AQ were determined, which are: a) the concentration of total SO₂ is 44.9 g/l and the duration is 130.8 min; b) the concentration of total SO₂ 40 g/l and duration 144.7 min. The quality indicators of the semi-finished products obtained by the alkaline-sulfite method were established at the optimum points by the method of multi-criteria optimization using Harington's desirability function, respectively: yield of fibrous semi-finished products, % of mass abs. dry raw materials – 66.01 and 64.76; mass fraction of lignin, % – 12.13 and 10.63; breaking length, m – 9999 and 10972; tear resistance, mN – 501 and 573; absolute compressive strength, kPa – 399 and 412; breaking strength during repeated bending, k.p.p. – 2285 and 1440.

So, based on the conducted experimental studies, the effectiveness of using alkaline-sulfite conditions for the delignification of paulownia wood is shown. It has been established that semi-finished products with significantly higher strength indicators can be obtained compared to the neutral conditions of the process, which significantly expands the scope of their application.

Key words: Paulownia Clone in Vitro I12®, neutral-sulfite cooking, fibrous semi-finished product, physical and mechanical parameters, mathematical model.