

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Якименко Ольги Сергіївни**

на тему: **«Розробка технологій одержання із недеревної рослинної сировини  
наноцелюлози та її використання у виробництві паперу і картону»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія»

за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

Детальний аналіз дисертаційної роботи Якименко Ольги Сергіївни на тему: «Розробка технологій одержання із недеревної рослинної сировини наноцелюлози та її використання у виробництві паперу і картону» та розгляд її наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки, а також надати загальну оцінку виконаного дослідження.

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Інтенсивне споживання деревини у світі призвело до виснаження її запасів та негативно вплинуло на навколишнє середовище. Покращення ж ситуації щодо збільшення обсягів лісосировини в найближчий час очікувати не варто через велику тривалість циклу лісовирощування. Домінуючі способи виробництва целюлози через значне забруднення довкілля також є стримуючим фактором у розвитку целюлозно-паперової промисловості. Такі виклики вимагають від деревопереробних підприємств, зокрема і целюлозно-паперової промисловості, впровадження новітніх технологій, у яких передбачено мінімізацію відходів, повторне використання існуючих ресурсів, зменшення шкідливого впливу на довкілля та підвищення ефективності виробництва.

В умовах України з обмеженими запасами деревини та розвиненим сільським господарством використання недеревної рослинної сировини є альтернативним джерелом целюлозних волокон, зокрема наноцелюлози з унікальними властивостями, яка здатна зменшити використання синтетичних полімерів у композиціях паперу і картону. Тому вважаю, що тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки присвячена розширенню сировинної бази для целюлозно-паперового виробництва шляхом залучення недеревної рослинної сировини, а саме стебел очерету та відходів сільського

господарства (поживних решток кукурудзи, стебел соняшника, волокон конопель), розробці технологій отримання целюлози і наноцелюлози екологічнобезпечними способами, придатної для використання у виробництві паперу і картону.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації** підтверджується чіткістю поставлених основних задач досліджень; застосуванням ряду методів: скануюча електронна мікроскопія – для дослідження морфологічної будови; рентгенівський дифракційний метод (XRD) – для визначення зміни надмолекулярної структури; інфрачервона спектроскопія з Фур'є перетворюванням (FTIR) – для визначення хімічного складу; термогравіметричний метод (ТГА) – для визначення термічної стійкості; атомна силова мікроскопія (АСМ) і трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ) – для підтвердження нанорозмірів отриманих зразків наноцелюлози; методів статистичного і дисперсійного аналізів – для оброблення експериментальних даних.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження авторки є аргументованими та змістовними і свідчать про високий рівень наукової підготовки дисертантки.

**Достовірність основних положень роботи** забезпечена шляхом проведення досліджень і застосування сучасних методів аналізу целюлози та наноцелюлози з недревної рослинної сировини.

Достовірність наукових положень, висновків та результатів дисертаційної роботи доведено позитивною оцінкою результатів на конференціях і в рецензованих наукових фахових виданнях.

Враховуючи всі вищенаведені аргументи можна зробити позитивний висновок щодо наукової обґрунтованості і достовірності отриманих положень дисертаційного дослідження, а також їх відповідності заявленій меті та завданням.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у тому, що здобувачкою вперше теоретично обґрунтовано та експериментально

підтверджено доцільність комбінування стадій лужної обробки та пероцтового варіння з метою отримання целюлози з поживних решток кукурудзи, стебел соняшника, очерету та волокон конопель, придатної для екстракції з неї наноцелюлози; встановлено зростання показників якості наноцелюлози залежно від середовища її отримання (глибоких евтектичних розчинників – 2,2,6,6-тетраметилпіперидин-1-оксиду – сульфатної кислоти); встановлено лінійну кореляцію між міцністю на розрив і прозорістю наноцелюлози та щільністю наноцелюлозних плівок.

Удосконалені та розвинуті способи отримання органосольвентної целюлози, визначено оптимальні параметри органосольвентного варіння різних представників недеревної рослинної сировини для отримання целюлози з мінімальним залишковим вмістом лігніну та зольності, а також способи отримання картонно-паперової продукції широкого споживання з використанням наноцелюлози як зміцнюючого реагенту для заміни традиційних та небезпечних для навколишнього середовища синтетичних хімічних допоміжних речовин.

**Практичне значення дисертаційної роботи.** Основним практичним досягненням дисертаційної роботи є розроблення технологій виготовлення з недеревної рослинної сировини (очерету та відходів сільського господарства) целюлози і наноцелюлози та використання їх у виробництві окремих масових видів паперу і картону, які дозволяють зменшити обсяги використання деревної целюлози (замінити макулатурною масою) та екологічне навантаження на довкілля; частково або повністю замінити екологічно шкідливі хімічні допоміжні речовини на отриману наноцелюлозу в композиціях масових видів паперу і картону.

Отримані авторкою результати впроваджено у навчальний процес студентів спеціальності 161 «Хімічна технологія та інженерія» кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Практичне значення роботи і запропонованих технічних рішень підтверджені актом впровадження результатів дисертаційної роботи на ПрАТ «Малинська паперова фабрика – Вайдманн».

**Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи в публікаціях.** За матеріалами дисертації опубліковано 24 наукові праці, з яких 13 статей і 11 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій. З опублікованих статей 6 – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України; 6 статей – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, 1 стаття у періодичному науковому іноземному виданні, яка додатково відображає наукові результати.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам “Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Публікації за матеріалами дисертації повністю відображають основні наукові положення, результати і висновки роботи. Особистий внесок здобувачки в проведенні досліджень, розробленні наукових та практичних результатів є визначальним. Вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію.

**Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення.** Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел (195 найменувань) та п’ятих додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 206 сторінок друкованого тексту, основний її зміст викладено на 171 сторінці, в тому числі в тексті 28 таблиць та 60 рисунків. Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Вона характеризується єдністю змісту. Конкретно сформульовано мету та задачі

досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів.

*У першому розділі* роботи описано сучасний стан із використанням наноцелюлози у виробництві паперу і картону. Здійснено порівняльний аналіз характеристик рослинної сировини для отримання целюлози і виготовлення з неї наноцелюлози. Описано характеристики методів отримання різних видів наноцелюлози з рослинної сировини. Охарактеризовано наноцелюлозу як зміцнюючу добавку в композиції паперу та картону. Обґрунтовано вибір напрямку досліджень.

*У другому розділі* роботи розглянуто об'єкти, методи та методики досліджень. Наведено характеристики вихідної рослинної сировини. Описано методи одержання органосольвентної целюлози з досліджуваної недеревної рослинної сировини і наноцелюлози як з деревної, так і з недеревної целюлози. Описано методики виготовлення картонно-паперової продукції з використанням наноцелюлози та прилади контролю показників якості експериментальних зразків. Описано методи математичної обробки результатів експериментальних даних.

*У третьому розділі* описано результати досліджень целюлози і наноцелюлози з пожнивних решток кукурудзи, стебел соняшника та очерету, конопляних волокон, отриманих методами кислотного гідролізу та окиснення в середовищі TEMPO та DES, а також наноцелюлози з сульфатної хвойної невибіленої целюлози. Визначено оптимальні значення параметрів відповідних технологічних процесів. Порівняно показники якості НЦ, одержаної дослідженими методами екстракції із органосольвентної конопляної целюлози. Показано зростання показників якості наноцелюлози залежно від середовища її отримання в такій послідовності: глибокі евтектичні розчинники – 2,2,6,6-тетраметилпіперидин-1-оксил – сульфатна кислота. Встановлено лінійну залежність міцності на розрив і прозорості наноцелюлози від щільності наноцелюлозних плівок.

*У четвертому розділі* описано запропоновані технології та технологічні схеми виробництва паперу для пакування харчових продуктів, паперу-основи для шпалер, електроізоляційного паперу, картону для плоских шарів гофрокартону і тарного макулатурного вологостійкого картону з використанням наноцелюлози з недеревної рослинної сировини в їх композиціях. Розраховано економічний ефект від використання очеретяної наноцелюлози в композиції паперу для пакування харчових продуктів масою 110 г/м<sup>2</sup> для виробництва пакетів для фасування бакалійних виробів масою до 5 кг продуктивністю 50 тис. т на рік.

У загальних висновках сформульовано основні наукові результати даного дослідження.

У цілому можна зазначити, що викладення інформації в роботі послідовне та логічне. Робота є завершеною самостійною науковою працею, достатньо добре оформленою.

**До основних здобутків роботи** можна віднести:

- проведений аналіз сучасного стану використання наноцелюлози у виробництві паперу і картону, характеристик рослинної сировини для отримання целюлози і виготовлення з неї наноцелюлози, методів отримання різних видів наноцелюлози з рослинної сировини та характеристик наноцелюлози як зміцнюючої добавки в композиції паперу та картону;

- результати експериментальних досліджень хімічного складу зразків стебел кукурудзи, соняшника та очерету, волокон конопель під час їх термохімічного оброблення у процесі отримання целюлози і наноцелюлози та підтвердження його зміни скануючою електронною мікроскопією;

- результати експериментальних досліджень впливу основних технологічних параметрів пероцтового варіння на показники якості органосольвентної целюлози з досліджених представників недеревної рослинної сировини;

- результати експериментальних досліджень впливу параметрів кислотного гідролізу на характеристики наноцелюлози з досліджених

представників недеревної рослинної сировини.

- результати експериментальних досліджень визначення методами атомно-силової мікроскопії та трансмісійної електронної мікроскопії розмірів частинок наноцелюлози та залежність міцності на розрив і прозорості наноцелюлози від щільності її плівок;

- значення індексу кристалічності і розмірів кристалітів целюлозовмісних матеріалів із досліджених представників недеревної рослинної сировини, розрахованих за даними рентгеноструктурного аналізу, рентгенівського дифракційного методу та атомно-силової мікроскопії;

- значення індексу латерального порядку целюлозовмісних зразків матеріалів із недеревної рослинної сировини у процесі їх термохімічної обробки за рахунок зменшення залишкового вмісту лігніну та частки аморфної частини целюлози, встановлених на основі даних інфрачервоної мікроскопії з Фур'є перетворенням;

- результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів процесів отримання із органосольвентної целюлози наноцелюлози методами окиснення в середовищі 2,2,6,6-тетраметилпіперидин-1-оксиду (ТЕМПО);

- результати експериментальних досліджень впливу способу екстракції наноцелюлози із органосольвентної целюлози з дослідної недеревної рослинної сировини на показники її якості.

- рівняння регресії, які описують залежності показників якості наноцелюлози від технологічних параметрів процесів гідролізу органосольвентної целюлози з дослідної недеревної рослинної сировини та оптимальні значення цих технологічних параметрів;

- результати експериментальних досліджень впливу застосування наноцелюлози з дослідної недеревної рослинної сировини на показники якості паперу для пакування харчових продуктів масою 40 г/м<sup>2</sup>, паперу для пакування харчових продуктів на автоматах масою 83 г/м<sup>2</sup> і 110 г/м<sup>2</sup>, паперу-основи для шпалер, електроізоляційного паперу, картону для плоских шарів

гофрокартону масою 175 г/м<sup>2</sup>, картону тарного вологостійкого масою 160 г/м<sup>2</sup>.

- економічний ефект від використанням очеретяної наноцелюлози в композиції паперу для пакування харчових продуктів масою 110 г/м<sup>2</sup> для виробництва пакетів для фасування бакалійних виробів масою до 5 кг продуктивністю 50 тис. т на рік.

- практичні рекомендації з технологічними схемами, щодо використання наноцелюлози у виробництвах паперу для пакування харчових продуктів та картону для плоских шарів гофрокартону.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1 У вступі (третій пункт новизни) доцільно уточнити, що лінійна кореляція між міцністю на розрив і прозорістю, а також щільністю наноцелюлозних плівок відноситься до наноцелюлози з досліджуваної недеревної рослинної сировини.

2 У розділі 1 окрім світової тенденції розподілу площ зайнятих під лісові та сільськогосподарські насадження (табл. 1.1) доцільно було б доповнити інформацією такого ж розподілу в Україні та їх аналізом.

3 У розділі 1 хімічний склад основних компонентів рослинної сировини (табл. 1.2) доцільно було б доповнити даними хімічного складу стебел соняшника і коноплі, оскільки вони є предметом досліджень.

4 У розділі 2 підрозділ 2.2 і пункт 2.2.1 доцільно об'єднати, оскільки підрозділ складається лише з одного пункту.

5 У розділі 2 зазначено, що дослідження виконувались методами згідно з міжнародними стандартами (пункт 2.2.1), але не вказано посилань на стандарти, а в пункті 2.3.3 авторка посилається на ряд ГОСТів, які не діють в Україні.

6 У розділі 2 методики експериментальних досліджень доцільно було б доповнити фотографіями, схемами.

7 З розділу 3 текст методик доцільно перенести у розділ 2 і відкорегувати назви розділу та підрозділів щодо результатів досліджень.



8 У розділі 3 для рис. 3.3 відсутні пояснення позначень *a* і *б*.

9. Розділ 3 доцільно було б доповнити зведеною таблицею властивостей наноцелюлоз із досліджуваних видів недеревної рослинної сировини та розрахованих оптимальних параметрів процесу їх отримання й аналізом значень таблиці.

10 У розділі 3 висновки занадто подроблені (15 пунктів). Доцільно їх об'єднати групуванням відповідно до досліджуваних видів недеревної рослинної сировини.

11 У розділі 4 на рис. 4.1 і 4.2 некоректна назва осі *x*.

12 У розділі 4 доцільно детальніше обґрунтувати вартість целюлози і наноцелюлози з досліджуваних видів недеревної рослинної сировини в розрахунках техніко-економічної оцінки виробництва паперу і картону з використанням даних волокнистих півфабрикатів.

13 Загальні висновки до дисертаційної роботи занадто подроблені (17 пунктів).

14 У переліку літературних джерел (позиція 165) наявне посилання на необов'язкове російськомовне джерело 1980 року видання.

Наведені зауваження та побажання мають рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної значимості дисертаційної роботи. Дисертація є вагомим внеском у розвиток технологій виготовлення целюлози, наноцелюлози, паперу, картону та інших целюлозовмісних композиційних матеріалів.

### **Загальні висновки**

У зв'язку з вищенаведеним вважаю, що дисертаційна робота Якименко О. С. «Розробка технологій одержання із недеревної рослинної сировини наноцелюлози та її використання у виробництві паперу і картону» за актуальністю, новизною результатів, високим рівнем проведених досліджень відповідає вимогам, «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора

філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.), та напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з вищезазначеної спеціальності, а її авторка Якименко Ольга Сергіївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри технологій

деревинних композиційних матеріалів,

целюлози та паперу

Національного лісотехнічного

університету України,

доктор технічних наук, професор

Руслан КОЗАК

Підпис професора Козака Р.О. засвідчую:

Вчений секретар Національного  
лісотехнічного університету України

09.06.2025



Ольга ВАНІВСЬКА