

## Рецензія

рецензента к.т.н., доцента Сінкевич Ірини Валеріївни  
на дисертаційну роботу Лисенко Людмили Анатоліївни «Наукові основи  
використання гумінових кислот з бурого вугілля України»  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 161-Хімічні технології та інженерія

### **1. Актуальність теми**

Україна володіє значними запасами бурого вугілля, яке за своїми характеристиками є перспективною сировиною для отримання цінних органічних сполук, зокрема гумінових кислот і толуольного екстракту. Попри широке розповсюдження, буре вугілля здебільшого використовується як низькозатратне паливо, що не забезпечує повного розкриття його потенціалу та призводить до низької ефективності використання ресурсів і екологічних проблем. Гумінові кислоти з бурого вугілля мають унікальні властивості біоактивності, екологічної безпеки і здатності поліпшувати фізико-хімічні параметри полімерних та бітумних систем, що відкриває нові перспективи у виробництві біоактивних гідрогелевих матеріалів, біоплівок, а також у підвищенні експлуатаційних характеристик дорожніх нафтових бітумів.

Сучасні методи вилучення і модифікації гумінових кислот дозволяють не лише максимізувати вихід цільових продуктів із бурого вугілля, але й створити функціональні матеріали з покращеними технологічними та експлуатаційними якостями. Зокрема, біоактивні гідрогелі і трансдермальні матеріали, модифіковані гуміновими кислотами, мають значний потенціал у медицині, косметології та екотехнологіях завдяки підвищеній біосумісності, гемостатичній активності та здатності підтримувати оптимальний волого-ліпідний баланс шкіри. У дорожньому будівництві використання гумінових кислот у композиціях бітумів сприяє підвищенню їх термостійкості, еластичності та стійкості до старіння, що забезпечує довговічність покриттів і зменшує витрати на ремонт, що актуально в умовах зростання транспортних навантажень та потреби в екологічно безпечних рішеннях. З огляду на все більш гостру необхідність переходу до сталих технологій переробки низькосортної сировини, розроблення науково обґрунтованих технологічних підходів до вилучення, аналізу та застосування гумінових кислот із бурого вугілля відповідає пріоритетним завданням хімічної інженерії, біоінженерії, а також державної політики у сфері енергетичної та екологічної безпеки. Отже, дослідження сприяє не лише розкриттю нових знань про структуру, властивості та можливості застосування гумінових кислот, а й реалізації практичних рішень для економічно вигідного та екологічно безпечного використання ресурсів бурого вугілля в Україні і світі.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.**

Дисертація виконана в рамках наступних науково-дослідних робіт: «Розробка технології фіторекультивзації ґрунтів, забруднених внаслідок військових дій, з використанням інноваційного сорбенту з бурого вугілля України» (ДР № 0125U003175, замовник – Міністерство освіти і науки України), здобувач – відповідальний виконавець роботи; «Розробка «зелених» технологій використання низькометаморфізованих горючих копалин України» (ДР № 0124U000516, замовник – Міністерство освіти і науки України), здобувач – відповідальний виконавець роботи.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

- встановлено залежність виходу, елементного складу та структурних характеристик гумінових кислот і толуольного екстракту від варіацій послідовності їх вилучення з бурого вугілля України. Вилучення гумінових кислот до екстракції толуолом дозволяє отримати фракції з вищою ароматичністю (до 60,3%), ступенем асоціації (2,0) та зниженим вмістом водню, що свідчить про наявність стабільних, агрегованих макромолекулярних структур. При екстрагуванні толуолу перед лужною обробкою спостерігалось зменшення вмісту ароматичних фрагментів до 54,1%, зростання водневого індексу до 1,57 та зниження асоціативності молекул до 1,2. Ці результати доповнюють уявлення про структуру вуглецевмісних фракцій бурого вугілля і дозволяють на молекулярному рівні регулювати параметри кінцевих продуктів залежно від потреб;
- вперше встановлено залежність між ступенем метаморфізму вугілля та властивостями гумінових кислот, які використовуються для модифікації полімерних гідрогелів на основі полівінілового спирту та гідроксипропілметилцелюлози. Доведено, що вміст кисню та вуглецю у вихідному вугіллі суттєво впливає на структуру та дисперсність гумінових кислот, що, у свою чергу, визначає їх ефективність у процесах структуроутворення полімерних систем;
- вперше встановлено, що модифікація гідрогелів (желатин-альгінатних та ГПМЦ-альгінатних) гуміновими кислотами підвищує ступінь набухання з 19,82% до 36,23% та покращує волого-ліпідний баланс шкіри (вологість зростає з 58–60% до 64–66%, ліпідний вміст ~ з 52–54% до 58–60%). Доведено, що гідрогелі з 5% ГК мають оптимальну температуру гелі-соль переходу (~37°C) та здатність до швидкого гемостазу (час згортання крові ~ 95 с);
- встановлено, що модифікація дорожнього бітуму BND 70/100 гуміновими кислотами при температурі 120–180°C призводить до покращення його термостійкості та пружних властивостей, зменшення пластичності та збільшення твердості. Найбільш оптимальною температурою модифікації визначено 120°C, оскільки саме за цих умов досягається найкраще поєднання фізико-механічних характеристик (найвищі значення P25, D25 та E25) та стійкості до старіння (зменшення  $\Delta SP$  та збільшення залишкової penetрації після RTFOT). Це вказує на синергетичний ефект взаємодії гумінових кислот

з бітумом при нижчих температурах, що раніше не було детально досліджено.

#### **4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

– оптимізовано процес вилучення органічних компонентів бурого вугілля, що дозволило забезпечити високий вихід цільових продуктів – до 51,7% для гумінових кислот та до 14,86% для толуольного екстракту, а також необхідну їх якість. Це дозволяє адаптувати процес до потреб конкретних галузей (медицини, дорожнього будівництва або екотехнологій) із врахуванням структурних та енергетичних характеристик вихідної сировини;

– розроблено технології отримання біоплівки та гідрогелів з модифікованими властивостями, які можуть бути використані у косметичній промисловості для створення патчів від зморшок. Оптимізовано параметри введення гумінових кислот до складу полімерних розчинів, що дозволяє контролювати їх в'язкість та провідність для подальшого застосування у виробництві біодеградабельних матеріалів;

– результати дослідження можуть бути використані для розробки ефективних модифікованих бітумних матеріалів з покращеними експлуатаційними властивостями, зокрема підвищеною термостійкістю та стійкістю до старіння. Запропонований режим модифікації при 120°C дозволяє знизити енерговитрати на виробництво, що є економічно вигідним для дорожньої галузі. Це сприяє створенню довговічних покриттів, зменшенню частки руйнувань та зниженню витрат на ремонтні роботи;

– основні теоретичні положення та результати експериментальних досліджень, викладені в дисертації, використовуються у виробничій діяльності в Державному підприємстві «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (ДП «УХІН»))» та в навчальному процесі на кафедрі технологій переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

#### **5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.**

За темою дисертації опубліковано 18 наукових праць у тому числі: 4 статті у періодичних наукових виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України та 1 розділу монографії; 11 тез доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

#### **6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить анотацію, зміст, перелік позначень та символів, перелік скорочень, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

Дисертаційна робота спрямована на розвиток наукових основ і методів отримання та ефективного використання гумінових кислот і толуольного екстракту з бурого вугілля, а також на створення і дослідження біоактивних полімерних матеріалів (гідрогелів, біоплівок) і модифікованих дорожніх бітумних композицій із застосуванням цих речовин.

Об'єкт дослідження – процес переробки бурого вугілля з одержанням гумінових кислот і толуольного екстракту, а також процеси їх подальшого використання у створенні біополімерних матеріалів і модифікованих дорожніх бітумних композицій.

Предмет дослідження – наукові основи використання гумінових кислот з бурого вугілля, зокрема, процеси оптимізації вилучення гумінових кислот та толуольного екстракту з бурого вугілля, їх вплив на властивості біоплівок і дорожніх бітумів, а також створення біоактивних гідрогелевих матеріалів та модифікація бітумних композицій.

Мета – розроблення та наукове обґрунтування ефективних підходів до вилучення гумінових кислот і толуольного екстракту з бурого вугілля, вивчення їх впливу на властивості біоактивних полімерних та бітумних матеріалів, а також створення нових матеріалів із заданими властивостями для екологічно та економічно доцільного використання продуктів переробки бурого вугілля.

В експериментальній частині роботі використані сучасні стандартизовані методи визначення властивостей бурого вугілля, толуольного екстракту та гумінових кислот – технічний ( $W_t^r$ ,  $W^a$ ,  $A^d$ ,  $S_t^d$ ,  $V^{daf}$ ) і елементний ( $C^{daf}$ ,  $H^{daf}$ ,  $N^{daf}$ ,  $S_t^d$ ,  $O_d^{daf}$ ) аналізи, а також хімічний аналіз ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SO_3$ ) золи. Визначення виходу толуольного екстракту проводили згідно з ISO 975:2021, а виходу гумінових кислот проводили згідно з ISO 5073:2021. Структурні параметри ( $C_{ar}$ ,  $\delta$ ,  $cA$ ) толуольного екстракту та гумінових кислот розраховували за відомими формулами.

Визначали час гелеутворення та коагуляції, умовну та кінематичну в'язкість, питому електропровідність, ступінь набрякання, волого-ліпідний баланс розроблених полімерних гідрогелів та біоплівок, використовували оптичну та електронну мікроскопію.

Для оцінки якості отриманих бітумів використовували показники penetрації, температуру розм'якшення, пластичність, пружне відновлення, адгезія до гравію та скла. Крім того, використовували показники метода RTFOT (зміна маси, температура розм'якшення, проникнення, зміна температури розм'якшення, збережене проникнення).

Статистичний аналіз отриманих результатів і розробка математичних рівнянь виконувалася за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

У вступі обґрунтована актуальність задач дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, сформульована мета та основні задачі,

наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, відзначена апробація результатів роботи.

В першому розділі виконано критичний аналіз використання бурого вугілля, зокрема, розподіл родовищ бурого вугілля в Україні, основні технологічні характеристики бурого вугілля та класифікація, а також використання гумінових кислот (для зменшення старіння бітуму та в виробництві гідрогелевих матеріалів).

В другому розділі охарактеризовано необхідний і достатній набір інструментальних, переважно, стандартизованих методів дослідження. В експериментальній частині роботи використані сучасні стандартизовані методи визначення властивостей бурого вугілля, толуольного екстракту та гумінових кислот. Визначення виходу толуольного екстракту проводили згідно з ISO 975:2021, а виходу гумінових кислот проводили згідно з ISO 5073:2021. Визначали час гелеутворення та коагуляції, умовну та кінематичну в'язкість, питому електропровідність, ступінь набрякання, волого-ліпідний баланс розроблених полімерних гідрогелів та біоплівки, використовували оптичну та електронну мікроскопію. Для оцінки якості отриманих бітумів використовували показники penetрації, температуру розм'якшення, пластичність, пружне відновлення, адгезія до гравію та скла, а також показники метода RTFOT.

В третьому розділі проведено оптимізацію процесів вилучення толуольного екстракту та гумінових кислот з бурого вугілля шляхом варіювання часу, температури та співвідношення реагентів. Оцінено вплив цих параметрів на вихід і якість продуктів. Результати дозволяють забезпечити максимальний вихід гумінових кислот та толуольного екстракту і адаптувати процес під різні потреби і властивості сировини.

В четвертому розділі здійснено модифікацію біоплівки і гідрогелевих матеріалів на основі полівінілового спирту, гідроксипропілметилцелюлози та альгінату натрію гуміновими кислотами. Оцінено структуроутворення, в'язкість, електропровідність і гідратаційну здатність матеріалів. Проведено *in vitro* тестування біоактивності, зокрема гемостатичного ефекту. З'ясовано, що додавання гумінових кислот значно покращує водно-ліпідний баланс шкіри та експлуатаційні властивості трансдермальних гідрогелів.

В п'ятому розділі досліджено використання продуктів переробки бурого вугілля як модифікаторів дорожніх нафтових бітумів. Визначено оптимальні умови модифікації при 120°C для підвищення термостійкості, еластичності, адгезії та стійкості бітумів до старіння (RTFOT). Результати показали покращення фізико-механічних характеристик та довговічність бітумних покриттів, що має важливе значення для дорожнього будівництва й економії на ремонтних роботах.

У висновках наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження.

Список використаних джерел достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором значної кількості сучасних вітчизняних та закордонних джерел.

Додатки до роботи містять матеріали досліджень, що не увійшли в основну частину.

### **7. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих результатів зумовлено поставленими метою та завданнями, а також використанням відповідної методології дослідження. Крім того, достовірність заявлених положень обґрунтовується комплексним підходом у вивченні визначеного об'єкта, що також зумовлює і низку певних методів, які були використані в процесі дослідження.

### **8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень і результатів в опублікованих працях.**

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки повністю відповідають поставленим завданням дослідження та логічне витікають з отриманих результатів дослідження.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність дисертаційної роботи. Використання результатів, отриманих іншими науковцями супроводжується відповідними посиланнями на відповідні джерела.

Всі основні положення та найбільш важливі наукові результати дисертації, опубліковані в необхідному обсязі у фахових наукових виданнях України та закордонних періодичних виданнях, пройшли відповідну апробацію на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Основні матеріали дисертаційної роботи представлені в 18 наукових працях у тому числі: 4 статті у періодичних наукових виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України та 1 розділу монографії; 11 тез доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. Усі публікації містять результати роботи автора на окремих етапах виконання дисертаційної роботи та відображають основні її положення і висновки.

### **8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Для пропонування отриманих біоплівочок та гідрогелів з модифікованими властивостями, які можуть бути використані у косметичній промисловості для створення патчів від зморшок, потрібно мати акти клінічних досліджень.

2. При дослідженні модифікації бітумів бажано було б розглянути хімізм вбудови гумінових кислот в структуру бітуму.

3. Ви пишете що запропонований режим модифікації при 120°C дозволяє знизити енерговитрати на виробництво, що є економічно вигідним для дорожньої галузі. Останнім часом ми переходимо на технології «теплий асфальт» або навіть «холодний теплий асфальт» який кладеться при температурі 90 °С. Не буде такого, що виникнуть надмірні енергетичні витрати при застосуванні Вашої модифікації?

4. Було б доцільно привести розрахунок економічної ефективності прийнятих рішень.

5. Бажано було б показати, де буде інтеграція запропонованою Вами технології до існуючих технологій, які сьогодні використовуються.

6. В роботі присутня невелика кількість стилістичних помилок.

### Висновки.

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково-обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу, яка має важливе значення для галузі знань 16 «Хімічна інженерія та біоінженерія». Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Лисенко Людмили Анатоліївни «Наукові основи використання гумінових кислот з бурого вугілля України» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Лисенко Людмила Анатоліївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Рецензент – професор кафедри технологій  
переробки нафти, газу та твердого палива  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
к.т.н, доцент

Ірина СІНКЕВИЧ

Підпис *Ірина Синкевич*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
*Ірина Синкевич*  
09 02 2026 р.

