

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Целіщева Олексія Борисовича

на дисертаційну роботу

Соловйова Євгена Леонідовича на тему:

«Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом сировинних та технологічних чинників його виробництва»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

161 – Хімічні технології та інженерія

Актуальність теми дисертації

Актуальність дисертаційної роботи Є.Л. Соловйова зумовлена стратегічною роллю доменного коксу в металургії, де він є ключовим чинником ефективності виплавки чавуну та економічних показників підприємств. В умовах дефіциту високоякісного коксівного вугілля та погіршення сировинної бази постає гостра потреба у розробці наукових підходів до управління властивостями коксу. Питомий електричний опір (ПЕО) виступає інтегральним показником якості, що відображає структурну впорядкованість та готовність матеріалу. Проте наявні дослідження ПЕО залишаються фрагментарними, що не дозволяло повноцінно прогнозувати електрофізичні властивості на етапі підготовки вугільної шихти. Робота вирішує важливе завдання створення математичних моделей для такого прогнозування на основі петрографічних та технологічних параметрів. Додатково актуальність підсилюється необхідністю утилізації відходів коксохімічного виробництва та залучення альтернативної сировини, як-от нафтового коксу. Використання сучасних нанодисперсних добавок (карбідів бору та кремнію) відкриває нові перспективи для модифікації властивостей продукту. Таким чином, дослідження має фундаментальне і прикладне значення для підвищення конкурентоспроможності коксохімічної галузі України та створення вуглецевих матеріалів нового покоління.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Технології переробки нафти, газу та твердого палива» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», а також в ДЕРЖАВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ВУГЛЕХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ (УХІН)».

Результати виконаних здобувачем досліджень знайшли застосування під час виконання НДР «Опрацювання напрямків брикетування вугільних концентратів на основі сировинної бази ПрАТ «ЄВРАЗ ЮЖКОКС» (ДР 0117U005374)

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Соловйова Є.Л., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату теорії імовірності та математичної статистики, дисперсійного, кореляційного і спектрального аналізу, методів математичного та імітаційного моделювання з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційної роботи Соловйова Є.Л. базується на комплексному підході та підтверджується такими аспектами:

1. **Методологічна обґрунтованість:** Робота базується на фундаментальних положеннях хімічної технології палива та фізико-хімії вуглецевих матеріалів.

Використано системний підхід до аналізу факторів, що впливають на формування структури коксу.

2. **Сучасний інструментарій:** Дослідження виконані з використанням стандартних та новітніх лабораторних методів, включаючи петрографічний аналіз вугілля, визначення показників технічного аналізу та спеціалізовані методики вимірювання питомого електричного опору (ПЕО) з високою точністю.
3. **Статистична значущість:** Достовірність математичних моделей прогнозування ПЕО підтверджена методами математичної статистики. Високі коефіцієнти кореляції свідчать про адекватність розроблених моделей реальним технологічним процесам.
4. **Обсяг вибірки:** Експериментальна база охоплює широкий спектр вугільної сировини (вітчизняної та імпортової), а також різні типи добавок (нафтовий кокс, нанодисперсні карбіди), що забезпечує репрезентативність отриманих даних.
5. **Відтворюваність результатів:** Основні закономірності були багаторазово підтвержені під час проведення серій паралельних дослідів, що виключає випадковість отриманих висновків.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше встановлено, що збільшення на 1 % вмісту загальної сірки (S_t^d), виходу летких речовин (V^{daf}) і зольності (A_t^d) вугільної сировини призводить до збільшення питомого опору коксу на 0,0176 Ом·см, 0,0041 Ом·см і 0,0043 Ом·см відповідно. Збільшення на 1% вмісту вітриніту (Vt) призводить до збільшення питомого опору на 0,0013 Ом·см;

– вперше доведено, що введення органічних вуглеводневих добавок коксохімічного походження (кам'яновугільна смола, полімери бензолного відділення, кисла смолка сульфатного відділення, біохімічні смоли та олії)

призводить до підвищення питомого електричного опору отриманого коксу. Ця зміна властивостей тісно пов'язана з іншими важливими технологічними характеристиками коксу, такими як його міцність і реакційна здатність. Введення нафтового коксу в кількості 5 % до складу вугільної шихти викликає підвищення питомого електричного опору отриманого коксу з 0,082–0,092 Ом·см до 0,089–0,092 Ом·см. Це пов'язано з формуванням додаткової пористості та частковим порушенням спіклівості шихти через різницю у структурі вуглецевих фаз;

– вперше встановлено, що введення до вугільної шихти нанопорошків карбїду бору (B_4C) та карбїду кремнію (SiC) у кількості до 0,5 % мас. істотно знижує питомий електричний опір коксу з 0,175 Ом·см до 0,147–0,156 Ом·см. Найефективнішим виявилось використання 0,25 % SiC , що сприяє формуванню щільнішої контактної мережі між вуглецевими зернами та покращенню електропровідності. Дослідження полімерних керамо-неорганічних композитів системи поліамід 6 – SiC – Cr_2O_3 – графіт показало, що введення неорганічних наповнювачів сприяє підвищенню температури плавлення з 220 °C до 224 °C та збільшенню щільності з 1195 до 1340 г/см³. Це свідчить про структурне ущільнення полімерної матриці та покращення її термостійкості. Усі досліджені композиції мають $\rho = 0$ Ом·см.

– вперше встановлено, що збільшення міцності коксу після реакції (CSR) на 1 % призведе до зменшення питомого опору на 0,0019 Ом·см. А зменшення показника реакційної здатності коксу (CRI) на 1 % – до зменшення опору на 0,0016 Ом·см. Встановлено чітку тенденцію зниження питомого опору зі зростанням температури коксування, що свідчить про підвищення ступеня структурного упорядкування та покращення електропровідності матеріалу. Найбільші значення опору (~0,051 Ом·см) спостерігаються при нижчих температурах (до 950 °C), коли структура коксу ще не є стабільною. При підвищенні температури до 1100–1200 °C питомий опір різко зменшується (~0,045 Ом·см), що підтверджує досягнення більш

розвиненої кристалічної структури. Таким чином, доведено ключовий вплив термічного режиму на електрофізичні властивості коксу, який необхідно враховувати під час оптимізації технології коксування;

– вперше доведено, що підвищення температури нагрівання від 100 °С до 1500 °С призводить до поступового зниження питомого електричного опору для всіх гранулометричних класів. Для класу 10–25 мм ρ зменшується з 0,022 Ом·см до 0,009 Ом·см унаслідок зростання ступеня впорядкування вуглецевої матриці, зменшення міжшарової відстані і формування електропровідних графітових доменів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність роботи полягає у розробці:

Досліджено вплив гранулометричного складу коксового дрібняку на електропровідність коксу. Встановлено, що фракція 5–10 мм характеризується більшим питомим опором (0,028–0,033 Ом·см) порівняно з фракцією 10–25 мм (0,020–0,024 Ом·см). Зростання питомого опору дрібної фракції пояснюється більш розвиненою поверхнею та підвищеною кількістю контактних опорів між частинками.

Розроблено математичні залежності, які дозволяють розраховувати значення питомого електричного опору коксу за показниками відбиття вітриніту, виходу летких речовин, зольності, вмісту загальної сірки вугільної шихти. Стандартна похибка становить 0,00768 Ом см. Встановлено, що значення питомого електричного опору можна розраховувати за значеннями індексу реакційної здатності та міцності коксу після реакції з CO₂. Стандартна похибка становить 0,00605 Ом см.

Основні теоретичні положення та результати експериментальних досліджень, викладені в дисертації, використовуються у виробничій діяльності в ДЕРЖАВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-

ДОСЛІДНИЙ ВУГЛЕХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ (УХІН)» та в навчальному процесі на кафедрі технологій переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць у тому числі: 2 статті у періодичних наукових виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science та 5 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 10 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація виконана як кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису, відповідає вимогам до такого типу робіт і складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Дисертаційна робота складається з анотації українською і англійською мовами, вступу, п'яти розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 126 сторінок. Обсяг основного тексту складає 115 сторінок, 4 додатки розміщені на 8 сторінках. Список використаних джерел містить 94 найменування на 11 сторінках. Дисертація містить 24 рисунки по тексту, 44 таблиці по тексту, з яких 11 займають 8 повних сторінок.

Структура та зміст дисертаційної роботи

У **вступі** здобувачем належним чином обґрунтовано актуальність обраного напряму досліджень, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Чітко сформульовано мету та завдання, що випливають із логіки наукового пошуку. Особливої уваги заслуговує висвітлення наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів, що свідчить про глибоке розуміння автором сучасних викликів коксохімічної галузі.

Перший розділ присвячений ґрунтовному аналізу літературних джерел та критичному огляду сучасних уявлень про механізми впливу органічних і неорганічних домішок на якісні характеристики коксу. Автор демонструє системний підхід до вивчення існуючих технологічних рішень, що дозволило виявити невирішені аспекти проблеми та логічно перейти до власних досліджень.

У **другому розділі** наведено детальний опис комплексу інструментальних методів досліджень. Обґрунтовано вибір методик визначення питомого електричного опору (ПЕО) та параметрів міцності вуглеграфітових матеріалів. Застосований методичний підхід є цілком адекватним для отримання достовірних та репрезентативних даних щодо фізико-хімічних властивостей коксу.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень взаємозв'язку між показниками якості вугільної шихти та електрофізичними характеристиками отриманого коксу. Автором встановлено закономірності формування структурної впорядкованості вуглецевої матриці залежно від умов коксування.

У **четвертому розділі** представлено результати вивчення впливу органічних модифікаторів (вуглеводневих добавок, нафтового коксу, продуктів переробки коксового дріб'язку) на ПЕО доменного коксу. Отримані дані дозволяють оцінити потенціал залучення альтернативної сировини для спрямованого регулювання властивостей готової продукції.

П'ятий розділ характеризується високою науковою новизною, оскільки в ньому досліджено вплив нанопорошків карбідів бору та кремнію на електроопір коксу. Розгляд полімерних керамо-неорганічних сполук розширює уявлення про можливості створення композиційних вуглецевих матеріалів із заданими електрофізичними параметрами.

У **загальних висновках** узагальнено підсумки дисертаційного дослідження, які повною мірою відображають виконання поставлених задач та підтверджують досягнення мети роботи.

Список використаних джерел із 94 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Критичні зауваження, дискусійні положення та питання

Виконане дисертаційне дослідження є завершеною науковою працею, що вирішує важливу науково-технічну проблему. Однак, з метою підвищення наукової та прикладної цінності роботи, а також для ведення наукової дискусії, до дисертанта є кілька зауважень і питань.

1. У першому розділі, при аналізі літературних джерел щодо впливу домішок на якість коксу, автору варто було б приділити більше уваги порівняльному

аналізу вітчизняного та закордонного досвіду використання нанодисперсних добавок саме в контексті зміни ПЕО.

2. При описі методики визначення питомого електричного опору (розділ 2) бажано було б надати більш детальну інформацію щодо похибки вимірювань та ступеня впливу вологості зразків на відтворюваність результатів.
3. У третьому розділі досліджено вплив показників якості шихти на ПЕО, проте було б доцільно ширше висвітлити питання впливу мінерального складу золи вугілля на електрофізичні властивості готового коксу.
4. В четвертому розділі при вивченні впливу нафтового коксу як добавки не в повній мірі розкрито механізм взаємодії його структурних компонентів із компонентами вугільної шихти під час спікання.
5. До тексту роботи доцільно було б додати мікрофотографії структури коксу (оптична або електронна мікроскопія), отриманого з додаванням нанопорошків карбідів, для візуалізації змін у вуглецевій матриці.
6. Автор зазначає про вплив карбіду бору на ПЕО, проте в роботі недостатньо висвітлено питання економічної доцільності використання нанопорошків у промислових масштабах з огляду на їх високу вартість.
7. У розділі 5 розглядаються керамо-неорганічні сполуки, але було б цікаво почути думку автора щодо стабільності цих сполук у агресивному середовищі доменної печі при високих температурах.
8. Математичні моделі, наведені в роботі, мають високий коефіцієнт кореляції, проте автору слід було б вказати межі застосування цих моделей для шихт із принципово іншим петрографічним складом.
9. У деяких підрозділах четвертого розділу бракує проміжних висновків, що дещо ускладнює сприйняття логічного переходу між дослідженням органічних та неорганічних добавок.

10. При обґрунтуванні вибору добавок у вигляді карбіду кремнію та карбіду бору бажано було б навести порівняння їх ефективності з більш поширеними та дешевшими мінеральними модифікаторами.
11. Робота виграла б від наявності розділу або підрозділу, присвяченого екологічним аспектам використання запропонованих добавок у коксохімічному виробництві.
12. В оформленні дисертації зустрічаються поодинокі стилістичні огріхи та помилки у рисунках (наприклад, не скрізь уніфіковано підписи осей на графіках), що, проте, не впливає на загальну високу якість дослідження.

Зазначені зауваження мають переважно дискусійний характер і не знижують загального високого рівня виконаної роботи, її теоретичної значущості та практичної цінності.

Висновок

Дисертаційна робота Соловйова Євгена Леонідовича на тему: «Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом сировинних та технологічних чинників його виробництва» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій на основі теоретичних досліджень та експериментального підтвердження вирішено важливе науково-технічне завдання – встановлення закономірностей формування питомого електричного опору доменного коксу під впливом петрографічних і технологічних показників вугільної шихти, органічних та неорганічних модифікаторів, а також режимних параметрів коксування.

Подана дисертаційна робота «Наукові основи використання гумінових кислот з бурого вугілля України» Соловйова Є.Л. відповідає спеціальності 161 – хімічні технології та інженерія, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора

філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Соловійов Євген Леонідович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія.

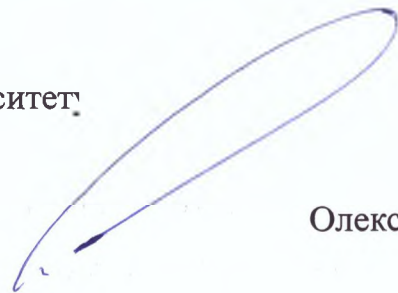
Офіційний опонент

Проректор з наукової роботи

Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля, д.т.н., професор

09.02.2026



Олексій ЦЕЛШЦЕВ

МП

