

Рецензія

рецензента к.т.н., доцента Сінкевич Ірини Валеріївни
на дисертаційну роботу Соловйова Євгена Леонідовича «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

1. Актуальність теми

Доменний кокс є ключовим матеріалом у металургійному виробництві, що визначає ефективність доменного процесу, якість чавуну та економічні показники роботи підприємства. В умовах дефіциту високоякісного коксівного вугілля, погіршення його сировинної бази та посилення екологічних вимог виникає гостра потреба у розробці науково обґрунтованих підходів до управління властивостями коксу через регулювання сировинних і технологічних параметрів його виробництва. Питомий електричний опір (ПЕО) коксу є інтегральним показником, який відображає ступінь структурного впорядкування вуглецевої матриці, готовність коксу та його придатність не лише для металургійних, а й для електротермічних процесів. Сучасні вимоги до коксу передбачають не лише високу механічну міцність і низьку реакційну здатність, але й контрольовані електропровідні характеристики, що особливо актуально для феросплавного виробництва та створення композиційних вуглецевих матеріалів. Відсутність достовірних математичних моделей для прогнозування ПЕО на основі петрографічних, технологічних і термохімічних параметрів унеможливорює цілеспрямоване регулювання властивостей коксу. Крім того, в умовах зростаючої потреби утилізації відходів коксохімічного виробництва та залучення альтернативної сировини (нафтовий кокс, коксовий дріб'язок) необхідна наукова оцінка їх впливу на структурну впорядкованість і електропровідність кінцевого продукту. Використання нанодисперсних неорганічних добавок (карбідів бору та кремнію) і вуглеводневих органічних компонентів відкриває нові можливості для модифікації коксу, але їхній ефект на формування провідної мережі вивчено недостатньо. Розробка науково-обґрунтованих підходів до управління питомим електроопором через оптимізацію компонентного складу шихти, введення модифікаторів і регулювання температурних режимів має як фундаментальне, так і прикладне значення для підвищення конкурентоспроможності коксохімічної галузі України та створення високотехнологічних вуглецевих матеріалів нового покоління.

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

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) (Додаток Г).

3. Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці теоретичних та практичних засад використання показника питомого електричного опору для контролю готовності коксу, а саме:

– вперше встановлено, що збільшення на 1 % вмісту загальної сірки (Std), виходу летких речовин (Vdaf) і зольності (Atd) 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 (B₄C) 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 – Cr₂O₃ – графіт показало, що введення неорганічних наповнювачів сприяє підвищенню температури плавлення з 220 °С до 224 °С 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 °С), коли структура коксу ще не є стабільною. При підвищенні температури до 1100–1200 °С питомий

опір різко зменшується ($\sim 0,045 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), 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 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ призводить до поступового зниження питомого електричного опору для всіх гранулометричних класів. Для класу $10\text{--}25 \text{ мм}$ р зменшується з $0,022 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ до $0,009 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ унаслідок зростання ступеня впорядкування вуглецевої матриці, зменшення міжшарової відстані і формування електропровідних графітових доменів.

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

Досліджено вплив гранулометричного складу коксового дрібняку на електропровідність коксу. Встановлено, що фракція $5\text{--}10 \text{ мм}$ характеризується більшим питомим опором ($0,028\text{--}0,033 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) порівняно з фракцією $10\text{--}25 \text{ мм}$ ($0,020\text{--}0,024 \text{ Ом}\cdot\text{см}$). 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 $0,00768 \text{ Ом см}$. Встановлено, що значення питомого електричного опору можна розраховувати за значеннями індексу реакційної здатності та міцності коксу після реакції з CO_2 . Стандартна похибка становить $0,00605 \text{ Ом см}$.

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».

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

За результатами дослідження дисертаційної роботи 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.

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 уявлень щодо Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом сировинних та технологічних чинників його виробництва.

Об'єкт дослідження – процес формування структурної впорядкованості та електропровідних властивостей доменного коксу під час високотемпературного перетворення вугільної шихти з органічними та неорганічними добавками.

Предмет дослідження – взаємозв'язки між показниками якості вугільної сировини (петрографічним складом, ступенем метаморфізму, зольністю, вмістом сірки та летких речовин), типом і концентрацією модифікуючих добавок (вуглеводневих продуктів коксохімічного виробництва, нафтового коксу, нанопорошків карбідів), температурними режимами коксування та величиною питомого електричного опору отриманого коксу як показника ступеня графітизації його структури.

Мета - 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.

В дисертаційній роботі використано комплекс сучасних стандартизованих і спеціалізованих методів дослідження вугільної сировини, вугільних шихт та отриманого доменного коксу. Лабораторне коксування вугільних шихт здійснювали в 5-ти кілограмовій електричній печі конструкції ДП «УХІН» з контролем температурного режиму в центрі завантаження, на стінках камери та в підсклепінному просторі. Питомий електричний опір коксу (ρ , Ом·см) визначали згідно з ДСТУ 8831:2019 методом вимірювання падіння напруги при проходженні постійного струму через спресований стовпчик коксового порошку крупністю менше 0,2 мм, укладений у спеціальну двозондову вимірювальну матрицю. Вимірювання проводили при тиску пресування до досягнення стабільних показань (1–2 хв), за температури довкілля та в діапазоні підвищених температур (100–1500°C) для різних гранулометричних класів (5–10 мм, 10–25 мм). Брикетування вугільної шихти здійснювали на лабораторному гідравлічному пресі при тиску пресування до 50 МПа з використанням органічних зв'язувальних (кам'яновугільна смола, полімери бензолного відділення, кисла смола, термопласт) у кількості 5–8 % від маси брикетів. Міцність брикетів оцінювали методом 4-кратного скидання з висоти 1,5 м. Технологічні властивості полімерних композитів (температура плавлення, щільність, індекс текучості розплаву) досліджували стандартними методами термічного аналізу та реометрії на приладі IIRT-M при температурі 270 °C та навантаженні 2,16 кг.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням методів кореляційного та регресійного аналізу, побудовою математичних моделей та оцінкою їх точності через коефіцієнти кореляції та стандартні похибки апроксимації.

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, представлено перелік публікацій за темою дисертації.

В першому розділі наведено критичний огляд існуючих уявлень щодо впливу домішок та технологічних рішень на показники якості доменного коксу. Зокрема, розглянуто показники якості доменного коксу, покращення якості доменного коксу шляхом введення органічних та неорганічних домішок, а також технологічні рішення для покращення якості доменного коксу.

В другому розділі представлено перелік інструментальних методів, що забезпечують необхідні та достатні умови для проведення досліджень. Зокрема, описані методи визначення якості вугілля та коксу, визначення питомого електричного опору, коксування вугільних сумішей. Приготування та оцінювання вуглеграфіту, а також метод брикетування коксового дріб'язку та визначення міцності брикетів на роздавлювання.

В третьому розділі досліджено вплив показників якості вугільної шихти на питомий електричний опір коксу. Зокрема, наведені характеристика вугільної шихт та умови коксування, а також показники якості отриманого коксу.

В четвертому розділі показано вплив органічних добавок на питомий електричний опір доменного коксу. Зокрема, досліджено вплив додавання вуглеводневих добавок коксохімічного виробництва, коксового дріб'язку та горіху, а також нафтового коксу на питомий електричний опір.

У п'ятому розділі досліджено вплив неорганічних добавок до вугільної шихти на питомий електричний опір коксу. Зокрема, досліджено вплив додавання нанопорошків карбїду бору та карбїду кремнію, а також питомий електричний опір полімерних керамо-неорганічних сполук.

У висновках наведено основні результати дисертаційної роботи щодо вирішення поставлених наукових та практичних 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 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. 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. Як оцінити вплив кожного фактору на питомий електроопір? Потрібно б було створювати якісь модельні середовища в лабораторних умовах.

2. Доцільно розглянути механізм формування структури коксу при додаванні добавок карбіду бору та карбіду кремнію. Якщо розглядати більш детально, то між карбідом бору та карбідом кремнію є принципіальна різниця. Обидва виступають як структуруюча добавка але карбід бору ще може володіти і каталітичними властивостями. Якщо розглядати з точки зору інертної добавки, тоді потрібно було розрахувати механізм теплопровідності цієї добавки.

3. Потрібно було б навести хімізм впливу добавок на показники якості.

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

5. Як вдосконалюється існуюча технологія? Бажано б було навести якусь схему.

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 Соловйова Євгена Леонідовича «Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом сировинних та технологічних чинників його виробництва» 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, Соловйов Євген Леонідович, заслуговує присудження йому 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 Сінкевич*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
09 " *02* 20*26* р.

