

ВІДГУК

офіційного опонента Бойченка Сергія Валерійовича про дисертаційну роботу

Кравченка Сергія Олександровича

«Наукові основи виробництва доменного коксу

з трамбованих вугільних шихт»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.17.07 – Хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів

Актуальність теми.

Металургійна галузь та її складова – коксохімічна підгалузь – є стратегічними секторами економіки України, що відіграють ключову роль у забезпеченні сталого розвитку країни.

Необхідно зазначити, що для виробництва доменного коксу в Україні використовувалось переважно імпортоване вугілля, частка якого у 2021 році сягала 71,8 %. Це склалось тому, що українське коксівне вугілля за своїми властивостями (великий вміст загальної сірки, несприятливий хімічний склад золи) не може при його самостійному коксуванні за традиційною технологією гарантувати отримання доменного палива необхідної якості за показниками механічної (M_{25} , M_{10}) та післяреакційної (CSR) міцності, а також реакційної здатності (CRI). Крім того, використання на коксохімічних підприємствах України мокрого способу гасіння доменного палива призводить до його розтріскування та погіршення рівня якості.

Підвищення рівня якості доменного коксу під час його виробництва з українського вугілля ефективно через використання методу трамбування (тобто, суттєвого підвищення насипної щільності з 800 до ~ 1100 кг/м³) вугільної шихти під час її підготовки до коксування, а також використання сухого гасіння доменного коксу, замість традиційного мокрого. Відповідно коксування трамбованих вугільних шихт дозволить оптимізувати процес виробництва доменного коксу через додавання до складу вугільних шихт великої кількості малометаморфізованого українського газового дешевого вугілля, забезпечуючи однорідність та необхідну пористість коксу. Це, в свою чергу, покращить його механічні властивості (M_{25} , M_{10}) та показники післяреакційної міцності (CSR) і реакційної здатності (CRI), що є критично важливим для ефективного використання коксу в доменному виробництві. Сухе гасіння коксу на установці сухого гасіння коксу (УСГК) дозволить отримати додаткову теплову енергію, що є енергоефективною альтернативою мокрому способу гасіння коксу. Ці тези стали визначальними для автора в контексті обґрунтування актуальності, науково-прикладної проблеми та мети даного дисертаційного дослідження.

Актуальність теми роботи додатково підтверджується тим, що вона безпосередньо пов'язана з науковими напрямками кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та виконувалась в рамках ініціативних та прикладних держбюджетних тематик спільно з Державним підприємством

«Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості (ДП «Гіпрококс», м. Харків) (науково-дослідна праця «Нові технічні рішення з конструкції і технології сухого гасіння коксу на основі технічних рішень характерних сучасним УСГК великої потужності» (ДР № 0123U100729), в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Поставлені в дисертації завдання доведені до кінцевого логічного вирішення, а сама наукова праця є завершеною науково-дослідною роботою та відповідає встановленим вимогам.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі **Кравченка С.О.** базується на аналізі науково-технічних джерел, визначенні мети й завдань дослідження, використанні сучасних методів дослідження, порівнянні та критичному аналізі отриманих результатів у контексті результатів інших дослідників, і фінальному формулюванні висновків за отриманими результатами.

Висновки дисертації базуються на великому масиві матеріалів, одержаних з використанням сучасних стандартних і науково обґрунтованих методів досліджень.

Тема дисертаційної роботи **Кравченка С.О.** пов'язана з пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки України, зокрема, згідно з п. 5 «Рациональне природокористування» і п. 4 «Енергетика та енергоефективність» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (редакція від 13.01.2024 р.).

Достовірність результатів дослідження підтверджується даними апробації, публікаційною активністю (оприлюдненням результатів), серед яких 3 патенти України на винахід.

Наукові положення, практичне значення та висновки дисертації логічно побудовані у контексті мети та поставлених завдань, теоретично обґрунтовані й патентно захищені.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- автором експериментально встановлено, що вплив фізико-хімічних (стадія метаморфізму та петрографічна однорідність), а також фізико-механічних (гранулометричний склад, вологість, тиск розпирання) показників якості вугілля та вугільних шихт на їх трамбованість;

- автором виявлено, що показник трамбованості вугільних шихт суттєво впливає на механічну міцність отриманого доменного коксу. Експериментально доведено, що підвищення трамбованості вугільної шихти з 11,6 до 14,3 кПа призводить до поліпшення якості одержаного доменного коксу за показником M_{25} з 88,0 до 90,2 %, та за показником M_{10} з 6,9 до 6,0 %;

- запропоновано механізм термохімічних реакцій під час коксування вугілля з підвищеною насипною щільністю. Збільшення щільності сприяє інтенсифікації

теплопередачі, дифузії проміжних продуктів і взаємодії радикалів, що змінює швидкість і глибину низько-, середньо- та високотемпературних реакцій. Регулювання тиску на поверхні вугільних зерен підвищує концентрацію низькомолекулярних продуктів деструкції, сприяючи утворенню додаткових рідких пластифікаторів, що покращують пластичність вугілля та якість коксу, підвищує вихід газоподібних і рідких продуктів на початкових стадіях та твердих залишків на фінальній;

- встановлено вплив поверхні та продуктивності конвеєрів, вологості вугільних шихт, їх гранулометричного складу на процеси їх залипання. Доведено, що зменшення вмісту води у вугільній шихті з 12 до 10 %, вмісту в ній частинок розміром 0–3 мм з 94 до 90 %, використання «чорної» замість «хромованої» поверхні, а також зменшення продуктивності роботи конвеєрів (з 350 до 250 т/год) призводить до підвищення швидкості її руху без виникнення залипання;

- встановлено, що при послідовному відкритті затворів коксовозного вагона досягається рівномірний розподіл дрібних фракцій коксу (22–29 %) у порівнянні з одночасним відкриттям, де цей показник коливається від 8–10 до 38–44 %. Це дозволяє зменшити витрати теплоносія з 1,5 до 1,3 м³/кг коксу. Використання конусних розсікачів сприяє формуванню практично плоских горизонтальних ділянок у форкамері, що запобігає сегрегаційним процесам. При діаметрі конусного розсікача 80 мм утворюється горизонтальна ділянка діаметром 170–180 мм з перепадом між пристінковими та верхніми рівнями завантаження від 10 до 20 мм. Це свідчить про значне покращення рівномірності розподілу фракційного складу коксу. Показано, що гідравлічний опір у секторах під час одночасного відкриття затворів може перевищувати 20 % у секторі з переважним накопиченням дрібних класів коксу, що призводить до необхідності збільшення витрат теплоносія вище нормованих значень;

- встановлено змодельовані принципи розподілу порозності коксу і газових потоків в зоні гасіння у залежності від застосування різних дугтьових пристроїв на комп'ютерній моделі УСГК. Доведено, що втрати напору крізь шар коксу залежать від гранулометричного складу і варіюються від 6,6 Па для частинок > 80 мм до 520 Па для частинок < 25 мм, а порізність коксового шару становить від 0,627 до 0,633 м³/м³. Розроблений завантажувальний пристрій забезпечує рівномірність розподілу грубого класу коксу (> 60 мм) на рівні 42 % і зменшує нерівномірність дрібного класу (< 60 мм) до 22 %, а використання розподільника з круглим випускним отвором діаметром 1,6 м знижує нерівномірність розподілу дрібних частинок до 16,8 %. Час випорожнення вирви збільшився з 12,8 до 13,5 с зі зниженням середньої витрати з 744,6 до 592,6 кг/с, а кут розльоту частинок стабілізувався на рівні 16° через 0,75 с. Швидкість сходу коксу в зонах прискореного руху перевищує середню в 3,4 рази, а використання схрещених балок дозволяє зменшити загальну швидкість сходу на 30 %. За наявності периферійного дуття максимальна температура газу становить 750 °С, а виток дуття збільшується з 6,0 до 7,7 %.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає у тому, що на основі виконаних досліджень і створених наукових основ обґрунтована міцність трамбованої шихти для камер коксування різної висоти з метою зниження кількості локальних обвалів. Для коксових камер заввишки 5,5 м значення трамбованості повинно складати не менше 12 кПа; 6,25 м – не менше 14 кПа; 7,3 м – не менше 16 кПа.

Розроблена технологічна схема підсушки вугільної шихти із використанням барабаних сушарок під час застосування тепла відпрацьованої водяної пари після турбогенераторів УСГК. Для визначення обладнання робочої лінії розраховано матеріальний і тепловий баланси.

Результати розробок отримали своє відображення у практичних рекомендаціях щодо: 1) використання конусних розсікачів у завантажувальних лійках для забезпечення рівномірного розподілу частинок коксу; 2) регулювання послідовності відкривання затворів коксовозного вагона для зменшення сегрегації частинок за фракційним складом; 3) оптимізації конструкції дуттьової головки, зокрема впровадження конфузорно-дифузорних лійок, для поліпшення розподілу теплоносія через вирівнювання потоків у різних секторах камери гасіння; 4) для зменшення сегрегації фракцій коксу застосовувати розсікачі діаметром 800 мм і більше; 5) для забезпечення рівномірного розподілу газових потоків як по горизонталі, так і по вертикалі, що підвищує ефективність охолодження коксу, використовувати двоярусні дуттьові пристрої великого діаметра; 6) для покращення подачі газу в центральну частину камери, де найчастіше спостерігаються зони зі зниженим газопроникненням через високу порозність, використовувати склянкоподібні дуттьові пристрої; 7) знижувати висоту падіння коксу регулюванням конструкції завантажувальних лійок або використання багаторівневих завантажувальних пристроїв; 8) спрямувати периферійне дуття на зони з підвищеною порозністю для покращення охолодження цих ділянок; 9) забезпечити збалансоване співвідношення потоків між центральною частиною і периферією камери для покращення охолодження коксу. Оптимальним є співвідношення 40/60 % між потоками через щілину і дистриб'ютор;

Автором доведено, що впровадження технології коксування трамбованої шихти на діючих коксових батареях дозволить знизити вартість вугільної шихти на 32,5 \$/т. Термін окупності капітальних вкладень під час будівництва комплексу об'єктів сухого гасіння коксу становить 3 роки, а річна рентабельність 32,8 %.

Теоретичні та практичні результати, що отримані під час виконання досліджень, набули практичного використання у навчальному процесі в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний університет», Державному підприємстві «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут «УХІН» (м. Харків) та Державному підприємстві «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості «ДП «ГИПРОКОКС» (м. Харків).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи репрезентовано в 34 наукових працях: 23 статті, з них 17 – у наукових фахових виданнях України, 6 статей – у наукових періодичних фахових виданнях з науково-метричних баз Scopus та Web of Science; 8 – у матеріалах апробаційного характеру, а також отримано 3 патента України на винахід.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота **Кравченка С.О.** складається зі вступу, 5 основних розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації становить 372 сторінки: 19 рисунків за текстом; 35 таблиць за текстом, 218 найменувань використаних джерел на 26 сторінках; 5 додатків на 49 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, задекларовано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та напрямки її досягнення, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У **першому** розділі виконано дослідження сучасного стану виробництва коксу та перспектив його технологічного розвитку. Встановлено, що загальним фактором, що визначає стан і тенденції розвитку коксохімічного виробництва, є кон'юнктура даного ринку: обсяги виробництва металургійного коксу визначаються потребою в ньому доменного виробництва, обсяги доменного виробництва – потребою сталеплавильного виробництва в передільному чавуні. Заснована на вуглеці виплавка чавуну продовжує бути найбільш поширеним способом виробництва первинного металу і буде залишатися актуальною у найближчий час.

У **другому** розділі наведено характеристики матеріалів, обґрунтовано вибір методик досліджень.

Третій розділ присвячено розробленню та дослідженню складів вугільних шихт для трамбування.

У **четвертому** розділі наведено результати дослідження газодинамічних процесів в лабораторній моделі УСГК, а саме: вплив умов завантаження коксу на розподіл частинок різної крупності за висотою камери гасіння; вплив висоти зони гасіння та конструкції дугтьової головки на траєкторію руху частинок у камері гасіння; вплив сегрегації коксу і порозності засипу на розподіл дуття в об'ємі камери гасіння; вплив на розподіл дуття в камері гасіння конструкції дугтьових пристроїв.

У **п'ятому** розділі наведено результати дослідження газодинамічних процесів в комп'ютерних моделях УСГК, що імітують: завантаження коксу в коксовізний вагон; розвантаження коксу у камеру-накопичувач; схід коксу у камері гасіння; гідравлічна модель камери гасіння з урахуванням теплообміну..

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо придатно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

У той же час під час вивчення дисертації й автореферату у опонента виникли наступні дискусійні **запитання та рекомендації**:

1. Розділ перший інформаційно перевантажений і поданий у монографічному стилі. Варто було значно скоротити цей матеріал і послатися та відповідні джерела. Автору доцільно було б сфокусуватися в рамках цього розділу на критичному аналізі напрацьованого людством доробку в цій сфері науки та практики.

Важливо тут закцентувати увагу на напрацьованні вітчизняних наукових шкіл до вирішення зазначеної науково-прикладної проблеми.

2. Розділ другий інформаційно перевантажений, що ускладнює сприйняття матеріалу. Варто було б зосередитися на унікальному евристичному обладнанні та методиках, а відомі стандартні методи згадати посиланням на літературне джерело.

Також бажано було б описати методику оцінювання якості (точності) експериментальних даних.

3. У розділі 3 автором отримано низку експериментальних даних і отримано математичні моделі. Але під час ознайомлення з ними виникло питання адекватності цих моделей. Тут бажано розтлумачити.

У той же час вимагає, на думку опонента, додаткове тлумачення прикладного та наукового значення дослідження кута нахилу поверхні для сповзання шихти. На погляд опонента важливим було б дослідити адгезійні властивості поверхні та її шорсткість для забезпечення придатних властивостей.

4. Вимагає пояснення інформаційна значущість рисунків 4.1-4.9. Можливо раціональніше їх було систематизувати та винести у додатки.

5. У 5-му розділі дуже багато експериментальних даних, але їх опис і обгрутування вимагають додаткового пояснення у контексті переваг сухого гасіння.

6. Формулювання предмету дослідження більш раціональним було у такій інтерпретації - “.. технологічні параметри підготовки вугільної шихти для трамбування, а також післяпічного оброблення доменного коксу”.

7. Формулювання пп. 2, 4 наукової новизни більше характеризують практичний аспект досліджень.

8. У висновку 11 дисертації трактування має декларативний характер. Бажано надати доказову базу щодо упровадження результатів дослідження, про що йдеться у висновку.

9. У тексті дисертації й автореферату зустрічаються редакційні, стилістичні та термінологічні помилки, технічні описки. Так, наприклад, автором часто помилково вживаються такі конструкції “шляхом” замість “через”, “за рахунок” замість “через”, “розробка” замість “розроблення”, “при ...” замість “під час або у процесі ...”, “у якості” замість “як” і т.п.

Однак, виявлені невідповідності не знижують науково-практичної цінності дисертаційної роботи та мають дискусійний рекомендаційний характер. Наукова новизна, практичне значення результатів наявні, а їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня та відзеркалює зміст дисертації та автореферату. Дисертація має чітко виражений науково-прикладний характер.

