

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу

Коваля Валентина Валерійовича

«Оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія
(галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія)

Актуальність теми

Вивчення рукопису дисертаційної роботи дозволило дійти висновку, що дисертаційна робота **Коваля В. В.** присвячена вирішенню **актуального науково-прикладного завдання** щодо оптимізації технологічної схеми підготовки шихти до коксування з урахуванням розмолоздатності її компонентів.

Проблема якості підготовки вугілля до коксування залишається однією з основних технологічних операцій, що суттєво впливають на показники механічної міцності коксу та енергоємність вуглепідготовчих цехів. Відповідно якість коксу відіграє ключову роль у роботі доменних печей – основного споживача коксу. З точки зору економіки виробництва коксу вигідно виробляти високоякісний кокс із коксової шихти з максимально можливим вмістом більш дешевого вугілля. Тому виконання досліджень щодо оптимізації схеми підготовки шихти до коксування з погляду розмолоздатності її компонентів є актуальним і практично доцільним так як ця технологія дозволяє використовувати велику кількість дешевого газового вугілля без зниження якості отриманого доменного коксу.

На підставі всебічного аналізу формальних сторін дисертації **Коваля В. В.**, вимог до оформлення та представлення результатів дослідження, можна дійти висновку, що поставлені в дисертації завдання досліджень доведені до кінцевого логічного вирішення, а сама наукова робота є завершеною науково-дослідною працею та відповідає встановленим на сьогодні вимогам.

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

Наукові положення, висновки, технічні рішення, що сформульовані в дисертаційній роботі, теоретично обґрунтовані, а їх достовірність підтверджується результатами експериментальних досліджень (розділи 3–4), що теоретично позиціоновані та обґрунтовані автором. Усі висновки базуються на значному масиві аналітичних і експериментальних даних, одержаних з використанням сучасних стандартних і евристичних методів досліджень.

Тема дисертаційної роботи **Коваля В. В.** **безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України** згідно з п. 3 «Енергетика та енергоефективність» і п. 4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами від 12.01.2023 р.), а також відповідає науковому напрямку Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і виконувалась у межах проєктів «Розробка рекомендацій щодо оптимізації роботи та зростання продуктивності вуглепідготовчого цеху при застосуванні пристроїв для відсіву дрібних класів вугілля перед подрібненням» (№ ДР 0116U005171, замовник – ПРАТ

«ЗАПОРІЖКОКС»), «Розробка технологічного завдання на проектування та рекомендації оптимізації схеми підготовки вугільної шихти в ВПЦ-1 ПРАТ «АКХЗ» з метою зниження передроблення вугільної шихти та кількості дрібних класів для запобігання її самоопіснення і виносу пилоподібних класів» (№ДР 0120U102661, замовник – ПРАТ «АКХЗ»), «Розробка рекомендацій з впровадження технології попереднього подрібнення вугілля у ВПЦ-2 ПРАТ «АКХЗ»» (№ДР 0120U102670, замовник – ПРАТ «АКХЗ»), «Оптимізація роботи ВПЦ-2 для підвищення якості і виходу доменного коксу, що виробляється у КЦ № 2–4 ПРАТ «АКХЗ»» (№ ДР 0120U102759, замовник – ПРАТ «АКХЗ»), «Розробка технічних рішень щодо впровадження схеми підготовки вугільної шихти із застосуванням технології відсіву дрібних класів у ВПЦ-1 ПРАТ «АКХЗ» (№ДР 0117U005031, замовник – ПРАТ «АКХЗ»), де здобувач був виконавцем.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень (розділи 3, 4), а також апробацією на 11 конференціях різного рівня, 3 актами упровадження у навчальний та (1) науковий процеси (1), у виробництво (1).

Наукові положення, практичне значення та висновки дисертації логічно побудовані у контексті мети та сформульованих завдань, експериментально доведені та теоретично обґрунтовані.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації двома мовами, переліку умовних позначень та символів, переліку скорочень, списку публікацій за темою дисертації, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 149 сторінок, з них: 47 рисунків (з них 42 – за текстом, 5 – на окремих сторінках), 33 таблиці (з них 27 – за текстом, 6 – на окремих сторінках), список використаних джерел зі 120 найменувань (13 сторінок), 4 додатки на 8 сторінках.

До основних нових наукових результатів дисертації автор відносить таке:

- показано, що міцність вугілля, що визначається за методом Протод'яконова, обумовлюють такі чинники як показник відбиття вітриніту (R_0), вихід летких речовин (V_{daf}), середній діаметр частинок вугілля (d_s), а також вміст кисню (O_d^{daf}) та вуглецю (C^{daf});

- встановлено зв'язок між коефіцієнтом міцності за методом Прото`яконова та коефіцієнтом розмолоздатності вугілля за методом Хардгрова. Показано, що показники якості вугілля (R_0 , V_{daf} , d_s , O_d^{daf} , C_{daf}) мають значно нижчий вплив на коефіцієнт міцності за Протод'яконовим (f) ($R^2 = 0,550-0,716$) ніж на коефіцієнт розмолоздатності за Хардгровим (HGI) ($R^2 = 0,807-0,937$), що своєю чергою сприятиме оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування;

- показано, що коефіцієнт розмолоздатності Хардгрова та коефіцієнт міцності Протод'яконова задовільно класифікують вугілля за рівнем їх опору подрібнюючим зусиллям. Розраховано значення коефіцієнтів розмолоздатності по Хардгрову та коефіцієнтів міцності за Протод'яконовим неокисненого (відновленого) коксівного вугілля окремих марок та груп у рамках ДСТУ 3472:2015 « Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація». Для вугілля марки Г значення HGI коливається в межах 38-48 од., f – від 1,05 до 1,37 од.; для вугілля жирної групи HGI = 60-66 од., $f = 0,55-0,86$ од.; для вугілля коксівної групи HGI = 69-80 од., $f = 0,54-0,93$ од.; для вугілля піснувато спікливої групи HGI = 84-86 од., $f = 0,65-0,75$ од;

- встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень коефіцієнта розмолоздатності Хардгрова HGI вугільних шихт за їх сумісної підготовки від їх розрахункових значень в сторону зменшення коефіцієнта HGI (до твердішого вугілля). Встановлено також, що зі зростанням експериментально отриманих коефіцієнтів розмолоздатності, їх відхилення від розрахункових значень зменшуються;

- налаштування дробарки за запропонованим методом розрахунку коефіцієнту розмолоздатності вугільної шихти призводить до зниження на 1,8 % вмісту пилоподібних класів ($< 0,5$ мм) порівняно з визначенням розмолоздатності шихти розрахованої за адитивністю та на 2,0 % порівняно з налаштуванням розмолоздатності шихти розрахованої за формулою залежності HGI від V^{daf} , що дозволяє оптимізувати схему підготовки шихти до коксування за цим показником.

Значимість отриманих результатів для практичного використання.

Практичну цінність дисертації авторка позиціонує у такий спосіб:

- розроблено графічно-математичні залежності, що дозволяють прогнозувати коефіцієнт розмолоздатності вугілля за методом Хардгрова (HGI) та коефіцієнт міцності вугілля за методом Протод'яконова (f) на основі визначення показників його якості (R_0 , V^{daf} , C^{daf} , O^{daf}_d);

- з метою оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування сформульовано принципи прогнозування величини коефіцієнту розмолоздатності вугільної шихти. Виявлена математична залежність, що дозволяє прогнозувати значення коефіцієнта розмолоздатності Хардгрова HGI бінарних та багатокомпонентних вугільних шихт за даними коефіцієнтів розмолоздатності окремих її компонентів. Встановлено, що оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування досягається через те, що дана залежність дає змогу значно точніше прогнозувати коефіцієнт розмолоздатності вугільних шихт, ніж раніше використовувані формули розрахунку залежності HGI від V^{daf} та за методом адитивності;

- оцінювання потужності дробарки на основі сформульованих принципів визначення розмолоздатності вугільних шихт відрізняється в середньому в 2,2 рази точнішими значеннями відхилень від значень, визначеними за адитивністю та в 3,4 рази точнішими значеннями відхилень від значень, визначеними за формулою залежності HGI від V^{daf} . Це, своєю чергою, запобігає зростанню вмісту пилоподібних класів $< 0,5$ мм, що в даному випадку виступає основним критерієм оптимізації;

- практичне використання отриманих результатів дає можливість внаслідок суттєвого підвищення точності оцінювання потужності дробарки зекономити від 9151597 до 18909142 грн. на рік. Для виробництва 1 млн т валового коксу ця економія становитиме від 2,73 до 5,64 млн грн.;

- основні теоретичні положення та результати експериментальних досліджень, викладені в дисертації, використовуються у виробничій діяльності Державного підприємства «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС», ПрАТ «ДКХЗ» та ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» (акт упровадження наведено у додатках Б, В) та в навчальному процесі на кафедрі технологій переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (акт упровадження наведено у додатку Г).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 19 працях, серед яких 2 статті у періодичних наукових виданнях, що включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science та 6 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 11 тез доповідей у матеріалах конференцій різного рівня.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі (наведено у додатку А).

Опубліковані праці цілком відображають основний зміст дисертаційної роботи 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.

Публікації висвітлюють основні наукові положення дисертації, зокрема, ті, що автор вносить на захист, а також характеризують його особистий внесок.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота **Ковалю В. В.** складається з анотації двома мовами, переліку умовних позначень та символів, переліку скорочень, списку публікацій за темою дисертації, вступу, п'яти розділів, висновків, та 4 додатків.

У вступі автором обґрунтовано актуальність обраної теми та завдань дослідження, сформульовані мета, об'єкт і предмет дослідження, та основні завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, позиціоновано зв'язок роботи з науковими темами визначено особистий внесок здобувача, відзначена апробація результатів дисертації.

У першому розділі здобувач демонструє результати аналітичного огляду вітчизняних і світових джерел інформації щодо існуючих методів визначення механічної міцності вугілля, встановлено, що цей показник залежить від великої кількості факторів (в'язкість, крихкість, тріщинуватість, властивості структурних зв'язків, тощо), врахувати зміну котрих неможливо. Автор дійшов висновку, що лабораторні методи механічних випробувань породних зразків, порівняно з натурними, з огляду на свою розробленість, здебільшого є доступними і високонадійними. Через те, що розкид міцності обумовлений в основному природною неоднорідністю вугілля, його міцність необхідно представляти деяким інтегральним показником, чисельне вираження котрого неминуче коливається біля певного середнього значення. Зважаючи на те, що у світі найрозповсюдженим методом оцінки механічних властивостей вугілля є метод визначення розмолотності по Хардгрову, і на те, що показник HGI пов'язаний з багатьма показниками якості вугілля (вологістю, зольністю, ступенем метаморфізму, елементним, 4 петрографічним та мінеральним складами, окисненням) з метою подальшого інтегрування вітчизняної науки зі світовою, його доцільно використовувати для визначення механічної міцності вугілля.

У другому розділі автором описано комплекс методів дослідження складу та властивостей вугілля та вугільних шихт. Позиціоновано основні методи оцінки властивостей вугілля та вугільних шихт, використані в дисертаційній роботі, зокрема, визначення коефіцієнта розмолотності по Хардгрову та визначення коефіцієнта механічної міцності методом Протод'яконова.

У третьому розділі представлено результати дослідження щодо взаємозв'язку складу, будови та властивостей вугілля різного типу з показником коефіцієнта розмолотності по Хардгрову, а також з показником коефіцієнта міцності за

Протод'яконовим. Встановлено, що підвищення коефіцієнта розмолоздатності за Хардгровим викликане зростанням у вугіллі вмісту загального та ароматичного вуглецю, а також ступеня ненасиченості структури. Відповідно, збільшення виходу летких речовин, зниження показника вітриніту та температури займання неокисненого вугілля, викликане підвищенням вмісту аліфатичного вуглецю та зниженням ступеня ненасиченості структури ОМВ призводить до зниження величини коефіцієнта розмолоздатності по Хардгрову. У свою чергу, збільшення показника відбиття вітриніту та вмісту вуглецю, а також зниження виходу летких речовин, вмісту кисню та середнього діаметра частинок вугілля призводить до зниження величини коефіцієнта міцності вугілля за Протод'яконовим. Розраховано значення коефіцієнтів розмолоздатності за Хардгровим і коефіцієнтів міцності за Протод'яконовим неокисненого (відновленого) коксівного вугілля окремих марок та груп у рамках ДСТУ 3472:2015 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення та ступеня окиснення». Тут автором встановлено зв'язок між коефіцієнтом міцності за методом Протод'яконова та коефіцієнтом розмолоздатності вугілля за методом Хардгрова. Показано, що вплив показників якості вугілля на коефіцієнт їх міцності за Протод'яконовим (f) значно нижчий ($R_2 = 0,550-0,716$), ніж на коефіцієнт їх розмолоздатності за Хардгровим (HGI): $R_2 = 0,807-0,937$. Показано, що коефіцієнт розмолоздатності Хардгрова та коефіцієнт міцності Протод'яконова задовільно класифікують вугілля за рівнем їх опору подрібнюючим зусиллям. Розроблено графічно-математичні залежності, що дозволяють прогнозувати розмолоздатність вугілля за методами Хардгрова (HGI) і Протод'яконова (f) на основі визначення показників його якості (R_0 , V^{daf} , C^{daf} , O^{daf}_d), що своєю чергою сприятиме оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування. Встановлено, що значення показників HGI та f обернено пропорційні. У цьому розділі автором розроблено математичну та графічну залежність їх прогнозу на основі значень одного з них.

У четвертому розділі представлено результати дослідження коефіцієнта розмолоздатності HGI бінарних вугільних сумішей, до складу яких входило вугілля різного ступеня метаморфізму у відсотковому співвідношенні, що змінюється. Було встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень коефіцієнтів розмолоздатності HGI сумішей за їх спільної підготовки від розрахованих за правилом адитивності. Також розроблені математичні залежності, що дають змогу за результатами визначення коефіцієнта розмолоздатності окремих вугільних компонентів прогнозувати величину HGI вугільної суміші. Визначено, що значення HGI бінарної вугільної суміші при роздільній підготовці вугільних компонентів перевищує розрахункове значення (у середньому на 3,6 од.), а за спільної підготовки – менше розрахункового значення (у середньому на 3,6 од.). Автором показано, що подрібнення вугілля за схемою ДШ потребує порівняно більших витрат енергії на дроблення порівняно зі схемою ДДК.

У п'ятому розділі представлено результати розрахунку коефіцієнту розмолоздатності вугільних шихт. Цей результат може бути використано з метою оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування. Також були визначені коефіцієнти розмолоздатності HGI вугільних шихт основних коксохімічних підприємств України. Встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень HGI вугільних шихт за їх сумісної підготовки від їх розрахункових значень в сторону зменшення коефіцієнта HGI до твердішого вугілля. Виявлена математична залежність, що дозволяє прогнозувати величину HGI вугільної шихти за даними

коефіцієнтів розмолоздатності окремих її компонентів. Налаштування дробарки за запропонованим методом розрахунку коефіцієнту розмолоздатності вугільної шихти призводить до зниження на 1,8 % та на 2,0 % вмісту пилоподібних класів (< 0,5 мм) порівняно відповідно з визначенням розмолоздатності шихти розрахованої за адитивністю або за формулою залежності HGI від V^{daf} , що дозволяє оптимізувати схему підготовки шихти до коксування за цим показником. Показано, що оцінювання потужності дробарки на основі сформульованих принципів визначення розмолоздатності вугільних шихт відрізняється в середньому в 2,2 рази точнішими значеннями відхилень від значень, визначеними за адитивністю та в 3,4 рази точнішими значеннями відхилень від значень, визначеними за формулою залежності HGI від V^{daf} . Встановлено, що практичне використання отриманих результатів дає можливість внаслідок суттєвого підвищення точності оцінювання потужності дробарки зекономити від 9151597 до 18909142 грн. на рік. Для виробництва 1 млн т валового коксу ця економія становитиме від 2,73 до 5,64 млн грн..

Академічна доброчесність

Результати дослідження, що винесено автором на захист, отримані самостійно та містяться в опублікованих працях. У працях, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, що є результатом індивідуальних наукових пошуків (персональний внесок описано у додатку А).

Невідповідності вимогам академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації **Ковалю В. В.**, не виявлено.

Тема дисертаційної роботи **Ковалю В. В.** безпосередньо пов'язана з **пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України** згідно з п. 3 «Енергетика та енергоефективність» і п. 4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами від 29.01.2021 р.).

Поставлені завдання у контексті сформульованої мети досягнуто та доведено до логічного завершення.

Відзначаючи загалом достатній науковий рівень дисертаційної роботи **Ковалю В. В.**, зазначаю, що робота не позбавлена певних зауважень, дискусійних аспектів і рекомендацій, а саме:

1. Формулювання предмету дослідження, на думку опонента, подано не у повному вигляді. Більш раціональним формулюванням було б «... *фізико-хімічні та експлуатаційні властивості вугільних концентратів, шихт*».

2. У трактуванні автором мети дослідження під час вивчення даної дисертації виникає необхідність додаткового обґрунтування даного формулювання. На підставі класичного розуміння мета будь-якого дослідження – це поставлена кінцева ціль, кінцевий результат, на що спрямоване все дослідження. У випадку даної дисертації метою дослідження є *розроблення науково-технологічних основ оптимізації технологічного процесу підготовки шихти до коксування з урахуванням розмолоздатності її компонентів*.

3. Перший і другий пункти формулювання наукової новизни дисертації вимагає додаткового обґрунтування щодо унікальності висновків. Автор стверджує, що це виконано і досягнуто вперше.

4. П'ятий пункт наукової новизни більше відображає практичне значення дисертації.

5. Перший і другий пункти формулювання практичного значення дисертації більше характеризує наукову складову результатів досліджень.

6. У першому розділі автором наведено використання стандартизованих методів дослідження з посиланням на скасовані в Україні стандарти (наприклад, ГОСТ 21206-75, ГОСТ 21153.1-75).

У цьому ж розділі не достатньо повно розкрито питання вкладу національних наукових шкіл у розв'язання даної науково-прикладної проблеми.

7. Перший та другий розділи дуже схожі за змістом. Було б раціонально їх об'єднати, а опис стандартизованих методик скоротити, пославшись на них у списку літератури. Акцентувати увагу опису методичного забезпечення на евристичних методах.

8. Отримані експериментальні залежності, що відображені на рис. 3.1-3.7 вимагають більш деталізованого опису, аналізу та висновків. Тут виникає запитання, яке змістовне значення мають ці залежності? Який їх внесок у розв'язання науково-прикладного завдання дисертації?

До табл. 3.5. бракує опису отриманих математичних залежностей.

9. Вивчення 5 розділу дисертації виявило необхідність додаткового пояснення щодо використання методики розрахунку техніко-економічного ефекту.

10. У тексті дисертації зустрічаються редакційні, стилістичні та термінологічні помилки. Так, наприклад, автором часто вживаються такі конструкції «у якості» замість «як» (стор. 30), «за рахунок» замість «через» (стор. 11, 14, 122), «при термохімічній взаємодії» замість «за термохімічної взаємодії» (стор. 80), тощо.

Однак, виявлені невідповідності не знижують науково-практичної цінності дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів наявні та їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня та їх зміст відповідають встановленим вимогам і відображають зміст дисертації.

Дана дисертаційна праця має чітко виражений прикладний характер.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

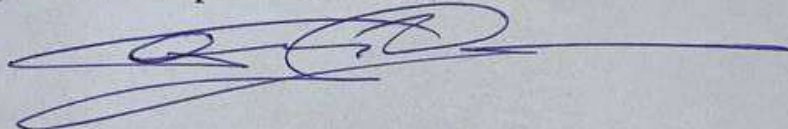
Всебічний аналіз дисертаційної роботи **Коваля В. В.** «Оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування» свідчить про те, що вона є завершеною, цілісною самостійною кваліфікаційною працею, логіка та внутрішня структура якої підпорядкована поставленій меті й завданням і вирішує важливе науково-прикладне завдання оптимізації технологічної схеми підготовки шихти до коксування з урахуванням розмолотості її компонентів.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що представлені автором висновки й рекомендації знаходяться у контексті розвитку напрямів і пріоритетів інноваційного розвитку країни, зокрема, у сфері удосконалення (оптимізації) оптимізації технологічної схеми підготовки шихти до коксування з урахуванням розмолотості її компонентів.

За сукупністю якісних і формальних ознак щодо актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, практичного значення висновків

і рекомендацій, їх достовірності й новизни дана праця відповідає вимогам, передбаченим Наказом Міністерства науки та освіти від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами, внесеними Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019) та Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, **Коваль Валентин Валерійович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія).

Завідувач кафедри автоматизації електротехнічних
та мехатронних комплексів НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського,
доктор технічних наук, професор,
академік Української нафтогазової академії



Сергій БОЙЧЕНКО

Підпис професора Бойченка С. В. **ЗАСВІДЧУЮ:**
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія ХОЛЯВКО