

## **Рецензія**

на дисертаційну роботу **Коваля Валентина Валерійовича**  
**«Оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування»**  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 161-Хімічні технології та інженерія

### **1. Актуальність теми**

Підготовка вугілля до коксування залишається однією з основних технологічних операцій, які суттєво впливають на показники механічної міцності коксу і енергоємність вуглепідготовчих цехів. Використання в шихті для коксування петрографічно неоднорідного вугілля зумовлює перехід від дроблення всієї шихти до диференційованого або групового дроблення компонентів. Підготовка вугілля до спалювання або коксування є важливою ланкою в технологічному ланцюжку підприємства, а спосіб подрібнення вугілля має великий вплив на якість і кількість продукції. Здатність коксу виконувати функції в доменному процесі обумовлюється сукупністю та рівнем його хімічних, фізико-хімічних та фізичних властивостей. При цьому якість коксу та його стабільність вирішальною мірою залежать від складу вугільної шихти, ефективності її підготовки та меншою мірою – від режиму коксування. У зв'язку з цим одним із першорядних у низці заходів, спрямованих на покращення якісних показників коксу, є оптимізація якості вугільних шихт шляхом досягнення оптимальних показників вологості, зольності, ступеня дроблення, а також забезпечення високого ступеня змішування вугільних концентратів, що входять до вугільної шихти для коксування.

Оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування, застосування прогресивних схем, дозволили б в умовах міжбасейнової сировинної бази коксування істотно знизити енерговитрати на подрібнення вугільної шихти, коректно налаштувати подрібнююче обладнання з метою недопущення передроблення спікливої основи вугілля, підвищити насипну щільність шихти, разове завантаження камери коксування і показники механічної міцності отриманого доменного коксу.

У зв'язку з вищевикладеним, робота, спрямована на визначення впливу розмолоздатності вугільної шихти на схему підготовки вугілля до коксування, в першу чергу, за рахунок оптимізації роботи дробильного відділення, є вельми актуальною.

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

Дисертація виконана в рамках наступних науково-дослідних робіт:  
– «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».

### **3. Аналіз змісту дисертації. Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.**

Дисертаційна робота спрямована на розвиток наукових основ і уявлень щодо оптимізації схеми підготовки вугільної шихти до коксування з точки зору визначення розмолоздатності вугільної шихти виходячи з розмолоздатності її компонентів.

*Об'єкт дослідження* – процес оптимізації підготовки до коксування вугільної шихти, що характеризується різним значенням механічної міцності.

*Предмет дослідження* – вугільні концентрати, вугільні шихти, що різняться значеннями розмолоздатності.

*Мета* – на підставі виконання теоретичних та експериментальних досліджень вирішити важливе науково-практичне завдання, яке характеризується науковою новизною і має практичне значення – розроблення науково-технологічних основ оптимізації схеми підготовки шихти до коксування з погляду розмолоздатності її компонентів.

В дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, яке характеризується науковою новизною і має практичне значення, а саме – розроблено науково-технологічні основи оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування – винайдені обґрунтовані методи прогнозу розрахунку коефіцієнту розмолоздатності вугільних шихт в залежності від розмолоздатності їх компонентів.

В експериментальній частині роботи використані сучасні стандартизовані методи визначення властивостей вугілля – ситовий, технічний ( $W_{rt}$ ,  $W_a$ ,  $A_d$ ,  $S_{dt}$ ,  $V_{daf}$ ), пластометричний ( $x$ ,  $y$ ), петрографічний ( $R_o$ ,  $V_t$ ,  $S_v$ ,  $I$ ,  $L$ , рефлектограма вітриніту) і елементний ( $C_{daf}$ ,  $H_{daf}$ ,  $N_{daf}$ ,  $S_{dt}$ ,  $O_{daf}$ ) аналізи. Для визначення показника окиснення вугілля і шихт використовували ДСТУ 7611:2014 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення і ступеня окиснення». Насипну щільність вугілля визначали згідно ДСТУ 7123:2009, в апараті ДП «УХІН». Коефіцієнт розмолоздатності за

Хардгровим визначали згідно ISO 5074:2015 (en) Hard Coal. Determination of Hardgrove grindability index, а коефіцієнт міцності – по методу Протод'яконова.

Статистичний аналіз отриманих результатів і розробка математичних залежностей виконувалася за допомогою ліцензійної 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 обґрунтовано актуальність теми. На підставі проведеного аналітичного огляду вітчизняних та світових джерел інформації, щодо існуючих найрозповсюджених 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.

Зроблено висновок, 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 розмолоздатності по Хардгрову, і на те, що показник *HGI* пов'язаний з багатьма показниками якості вугілля (вологістю, зольністю, ступенем метаморфізму, елементним, петрографічним та мінеральним складами, окисненням) з метою подальшого інтегрування вітчизняної науки зі світовою, його доцільно використовувати для визначення механічної міцності вугілля. Можливе також використання інших методів, що добре корелюють з методом Хардгрова.

У другому розділі охарактеризовано необхідний і достатній набір інструментальних, переважно, стандартизованих методів дослідження складу і властивостей вугілля та вугільних шихт.

Визначені основні методи оцінки властивостей вугілля та вугільних шихт, використані в дисертаційній роботі, зокрема, визначення коефіцієнта розмолоздатності по Хардгрову та визначення коефіцієнта механічної міцності методом Протод'яконова.

Третій розділ присвячено дослідженню взаємозв'язку складу, будови та властивостей вугілля різного типу з показником коефіцієнта розмолоздатності по Хардгрову, а також з показником коефіцієнта міцності за Протод'яконовим. Встановлено, що підвищення коефіцієнта розмолоздатності по Хардгрову 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. В 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 по Хардгрову та 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».

Вперше 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 їхнього 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 ( $R_0$ ,  $V_{daf}$ ,  $C_{daf}$ ,  $O_{daf}$ ), що своєю чергою сприятиме оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування. Встановлено, що значення показників  $HGI$  та  $f$  обернено пропорційні; розроблено математичну та графічну залежність їх прогнозу на основі значень одного з них.

В четвертому розділі досліджували коефіцієнти 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 їхньої 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 при спільній підготовці – менше розрахункового значення (у середньому на 3,6 од.).

Показано, що подрібнення вугілля за схемою *ДШ* потребує порівняно більших витрат енергії на дроблення порівняно зі схемою *ДДК*.

У п'ятому розділі, зроблено прогноз розрахунку коефіцієнту розмолоздатності вугільних шихт. Що може бути використано з метою оптимізації схеми підготовки вугілля до коксування.

Були визначені коефіцієнти розмолоздатності *HGI* вугільних шихт основних коксохімічних підприємств України. Встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень *HGI* вугільних шихт при їх сумісній підготовці 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.

*Висновки* сформульовано чітко, вони повністю висвітлюють отримані результати та відповідають поставленим завданням дослідження. За своїм рівнем висновки повністю відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

*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.

#### **4. Наукова новизна отриманих результатів.**

*В дисертаційній роботі вперше:*

1. Вперше 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 ( $O_{daf}$ ) та вуглецю ( $C_{daf}$ ).

2. Вперше встановлено зв'язок між коефіцієнтом міцності за методом Протод'яконова та коефіцієнтом розмолоздатності вугілля за методом

Хардгрова. Показано, що показники якості вугілля ( $R_0$ ,  $V_{daf}$ ,  $d_s$ ,  $O_{ddaf}$ ,  $C_{daf}$ ) 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.

3. Показано, що коефіцієнт розмолоздатності Хардгрова та коефіцієнт міцності Протод'яконова задовільно класифікують вугілля за рівнем їхнього опору подрібнюючим зусиллям. Розраховано значення коефіцієнтів розмолоздатності по Хардгрову та коефіцієнтів міцності за Протод'яконовим неокисленого (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.

4. Встановлено наявність систематичних відхилень фактичних значень коефіцієнта розмолоздатності Хардгрова  $HGI$  вугільних шихт при їх сумісній підготовці 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.

5. 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.

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

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертаційного дослідження, які розв'язуються послідовно та аргументовано. Достовірність наукових положень базується на основних принципах хімії та хімічної технології та підтверджується багатьма експериментальними дослідженнями, проведеними з використанням сучасного лабораторного обладнання та стандартизованих методів визначення властивостей (згідно ASTM, ISO, ДСТУ).

Обробка експериментальних даних, проводилася за рахунок використання системи статистичного аналізу даних, що включає широкий набір аналітичних процедур та методів.

## **6. Практична цінність отриманих результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання.**

1. 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<sub>0</sub>*, *V<sub>daf</sub>*, *C<sub>daf</sub>*, *O<sub>dafd</sub>*).

2. 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 за рахунок того, що дана залежність дає змогу значно точніше прогнозувати коефіцієнт розмолоздатності вугільних шихт, ніж раніше використовувані формули розрахунку залежності *HGI* від *V<sub>daf</sub>* та за методом адитивності.

3. 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<sub>daf</sub>*. Це, своєю чергою, запобігає зростанню вмісту пилоподібних класів < 0,5 мм, який в даному випадку виступає основним критерієм оптимізації.

4. 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.

5. 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» (Додатки Б, В) та в навчальному процесі на кафедрі технологій переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (Додаток Г).

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

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 у 19 наукових праць, у тому числі 2 статті у періодичних наукових виданнях, які 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 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. В дисертаційній роботі, при формуванні першого розділу, варто було приділити більше уваги розробкам вітчизняних науковців.

2. Формулювання наукової новизни дисертації вимагає додаткового обґрунтування щодо унікальності висновків.

3. Експериментальні залежності, що відображені на рисунках в 3 розділі вимагають більш деталізованого опису, аналізу та висновків.

4. В експериментальній частині дисертації варто розрахувати та навести похибки з якими отримані рівняння регресії описують отримані результати.

5. В роботі присутні стилістичні помилки.

Слід відмітити, що зазначені вище недоліки та зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової і практичної цінності.

### **9. 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 та біоінженерія». Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

З огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладення матеріалу в наукових публікаціях, відсутністю порушення академічної доброчесності, вважаю, що дисертація здобувача **Ковалю Валентина Валерійовича «Оптимізація схеми підготовки вугілля до коксування»** за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія», повністю відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку

присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.22р. № 44 та «Вимогам до оформлення дисертацій», затвердженими наказом МОН України від 12.01.17р. № 40, а її автор, Коваль Валентин Валерійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

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

Ірина СІНКЕВИЧ

Підпис *Ю.І. Зайцев*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ЗАЙЦЕВ Ю.І.

