

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Форма навчання Заочна

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Музики Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для коксування

(повна назва теми)

за матеріалами Техніко – економічні показники роботи КХВ ПАТ «АМКР»

(повна назва бази дослідження)

Науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Десна Н.А.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.25 2025р. № 16

Завідувач кафедри



(підпис)

Наук. ступінь, вчене звання Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії
Шмельцер К.О. доцент, к.т.н.
(підпис) (посада, вчене звання, прізвище, ініціали)
« 2 » червня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Музики Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для коксування

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 238-ст від «4» квітня 2025 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра Техніко-економічні показники роботи КХВ ПАТ «АМКР»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

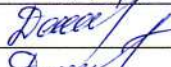
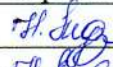
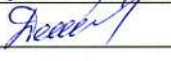
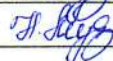
4.1 Аналітична частина: фізико-хімічні основи процесу коксоутворення, характеристики сировинної бази коксування підприємства, вимоги до якісних показників і технологічних характеристик доменного коксу, характеристика показників якості нафтового коксу, оцінка методів внесення нафтового коксу у вугільну шихту для коксування, основні технологічні зміни вугільної шихти для коксування при внесенні нафтового коксу.

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічних схем внесення нафтового коксу у вугільні шихти для коксування. Оцінка впливу кількості нафтового коксу на якісні показники вугільної шихти та коксу.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: вивчення основних шкідливих та небезпечних чинників роботи цеху підготовки вугілля для коксування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Десна Н.А., доцент		
2 Основна частина	Десна Н.А., доцент		

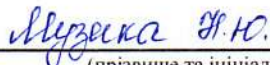
7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.25	
2.	Основна частина	26.05.25	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	19.06.2025	


Здобувач


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

АНОТАЦІЯ

Музика Н.Ю. Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для коксування. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню властивостей нафтового коксу, сферам його застосування та досвіду використання його в шихтах для коксування в різних кількостях на різних коксохімічних підприємствах з метою отримання високоякісного коксу.

В випускній кваліфікаційній бакалаврській роботі розглянуті основні шляхи застосування нафтового коксу в різних виробництвах, якісні характеристик і технологічні властивості нафтового коксу можливості використання його в шихтах коксохімічних підприємств України, замінивши дефіцитні марки вугілля у шихта.

На підставі аналізу змін якісних показників і технологічних характеристик вугільних шихт при використанні нафтового коксу розглянуті технологічні обмеження використання нафтового коксу, як заміника низькоспікливих компонентів та обмеження при використанні нафтового коксу з високою спікливістю та виходом летких речовин, задля збереження виходу та якості коксу.

Встановлено, що використання нафтового коксу можливо у вугільних шихтах при умові нижчої його вартості ніж вугільні концентрати, з метою покриття гострого дефіциту останніх або з метою утилізації нафтового коксу неліквідної якості.

В кваліфікаційній роботі проведений аналіз зміни виходу коксу і хімічних продуктів коксування при використанні нафтового коксу в заміні жирного вугілля та при збільшенні участі вугілля газової групи.

Ключові слова: нафтовий кокс, коксування, спікливість, нафтовий спікливий додаток, усадка, тріщинуватість.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Вимоги до якості доменного коксу	9
1.2 Властивості коксу	11
1.3 Сучасні вимоги до якості коксу	18
1.4 Фактори формування високої якості коксу	19
1.5 Нафтовий кокс	23
1.5.1 Характеристики нафтового коксу	25
1.5.2 Використання нафтового коксу	26
1.5.3 Світовий ринок нафтового коксу	30
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	33
2.1 Лабораторні дослідження карбонізації нафтового коксу в порівнянні з вугіллям	33
2.1.1 Дослідження за допомогою оптичного мікроскопа	35
2.2 Дослідження якісних характеристик нафтового коксу як компоненту вугільної шихти	45
2.3 Дослідження введення в шихту нафтового коксу низької спікливості	46
2.4 Дослідження введення в шихту нафтового коксу високої спікливості	48
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	56
3.1 Основні шкідливі і небезпечні чинники вуглепідготовчого цеху	56
3.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливостей і небезпек у вуглепідготовчому цеху	58
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Якість доменного коксу залежить від характеристик вугільної шихти, методів попередньої підготовки, таких як трембування, віброущільнення тощо, та умов коксування. Вугільна шихта відіграє значну роль у виробництві якісного коксу. Крім того, якість шихти залежить від якості окремих видів вугілля та їхньої взаємодії, що складають суміш.

Вугілля, будучи дуже гетерогенним матеріалом, вимагає особливої уваги до визначення його властивостей та змішування окремих видів вугілля для виробництва коксу. Текучість вугілля є однією з таких важливих властивостей коксування, яка значною мірою впливає на якість коксу. Коксівне вугілля, що має добру текучість, що дає хороший кокс, однак не тільки дуже дороге, але й має обмежені запаси. На відміну від інших властивостей, вугілля втрачає свою текучість при вивітрюванні, тобто окисленні в присутності повітря при тривалому зберіганні на складі, а значення текучості змінюється при змішуванні у шихту.

Зменшення пропозиції та зростання ціни на коксовне вугілля першої категорії змушує виробників коксу шукати нові рішення для підвищення якості та економічності процесу виробництва коксу [1–4].

Кокс є важливою сировиною в чорній та сталеливарній промисловості [5], де в доменному процесі він грає роль палива, відновника та проникної сітки, що підтримує колону вхідних матеріалів. Приблизно 75% собівартості виробництва коксу становить вартість вугілля, що використовується для приготування коксової суміші. Сьогодні поширеною практикою в коксохімічній промисловості є використання недорогих вугільних сумішей, які виробляють високоякісний кокс та забезпечують безпечну експлуатацію коксових батарей. Одним із методів підвищення економічної ефективності виробництва коксу є введення до вугільних сумішей дешевших компонентів, таких як напівм'яке вугілля, незлежуване вугілля або інші вуглецевмісні матеріали (коксовий дріб'язок, деревне вугілля, біомаса, пластикові відходи тощо) [6–21]. Однак, їхня

частка дуже обмежена – як правило, вона не повинна перевищувати кількох відсотків.

Метою випускної роботи бакалавра є вивчення світової практики використання нафтового коксу як компоненту вугільної шихти з метою скорочення витрати високоспікливого кам'яного вугілля.

Предметом дослідження є нафтовий кокс з метою використання його в вугільних шихтах для коксування.

Об'єктом дослідження є вугільна шихта для коксування з додаванням різної кількості нафтового коксу з метою отримання високоякісного доменного коксу.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Вимоги до якості доменного коксу

Сутність виплавки чавуну складається у відновленні заліза з його оксидів, які знаходяться в рудних матеріалах. Процес відбувається в доменній печі – вертикальній печі шахтного типу, викладений з середини вогнетривкою цеглою.

Кокс в доменній печі виконує три основні функції:

- джерело тепла для хімічних реакцій і фазових перетворень матеріалів доменної шихти;
- відновник в хімічних реакціях;
- розпушувач стовпа шихтових матеріалів, кокс – єдиний компонент доменної шихти, який залишається в твердому стані на нижніх горизонтах печі в зоні найвищих температур і забезпечує необхідну газопроникність засипу і дренаж рідких продуктів плавки.

Кокс є найдорожчим компонентом доменної шихти, тому у сучасному доменному виробництві у великих кількостях використовуються інші види палива, які поступають в доменну піч разом з нагрітим дуттям або коксом. Протягом двадцятого століття питома витрата коксу на виплавку чавуну знизилася на передових підприємствах з 800-1000 кг/т чавуну до 250-300 кг/т чавуну. Основними видами заміників коксу в світі є:

- природний газ;
- коксовий газ;
- мазут і вугільно-мазутні суміші;
- гарячі відновлювальні гази;
- коксовий горішок;
- антрацит;
- пиловугільні суспензії;
- пилоподібне вугільне паливо [22].

Для скорочення питомої витрати коксу велике значення має підвищення ефективності використання теплової і хімічної енергії газів, що відновлюють, це пов'язано з газодинамічними особливостями доменної печі. У сучасних умовах доменної плавки з колошниковим газом втрачається від 30 % до 55 % теплоти згорання вуглецю коксу.

Найбільше зниження витрати коксу досягається при одночасному підвищенню використання газу і зменшення ступеня прямого відновлення оксидів металів в доменній печі, на що впливають фізичні і фізико-хімічні властивості коксу, що використовується в доменному процесі.

Підвищення витрати газу і окислення вуглецю до CO_2 при інших рівних умовах ведення плавки залежить від структури стовпа шихти і розподілу газових потоків по об'єму шихтових матеріалів. Розподілення газів в різних площинах стовпа шихтових матеріалів практично однозначно залежить від розподілення сил опору руху газів в шаровому об'ємі. Останнє, в свою чергу, обумовлено властивостями коксу, складом і властивостями залізородної сировини і режимів їх завантаження. Враховуючи, постійне пошарове розподілення матеріалів в доменній печі, а також те, що кокс займає майже половину її об'єму і не змінює свого агрегатного стану майже до повного свого згорання на рівні фурм, зміна оцінки і оптимізація впливу якості коксу на процеси доменної плавки мають особливо велике значення [22].

Визначенню оптимального розміру шматків коксу для сучасної доменної печі має нерозривний зв'язок з його міцністю, цим дослідженням присвячена велика кількість робіт як вітчизняних так і світових спеціалістів. Враховуючи, що необхідно наблизити крупність коксу до сортованих залізородних матеріалів і більш міцних дрібних класів коксу, як обмеження розмірів його шматків діють значення:

- верхня межа 80, 70, 60, 51 мм;
- нижня межа 40, 30, 25, 20 і навіть 13 мм відповідно.

Зміна ситового складу коксу в доменній печі залежить від його міцності. При руйнації шматків коксу погіршується газопроникність засипу. Разом з тим

при просуванні засипу зверху вниз в доменній печі також має місце розпушення. Його інтенсивність залежить від фізико-хімічних властивостей коксу, щільності і складу засипу в різних зонах. Нерівномірність розподілення по перетину шахти доменної печі також відображається на розподілу газових потоків [22].

1.2 Властивості коксу

Відповідно [23], властивості коксу розділяють на чотири категорії: хімічні (хімічний склад), фізичні, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості насипної маси (Рис. 1.1).

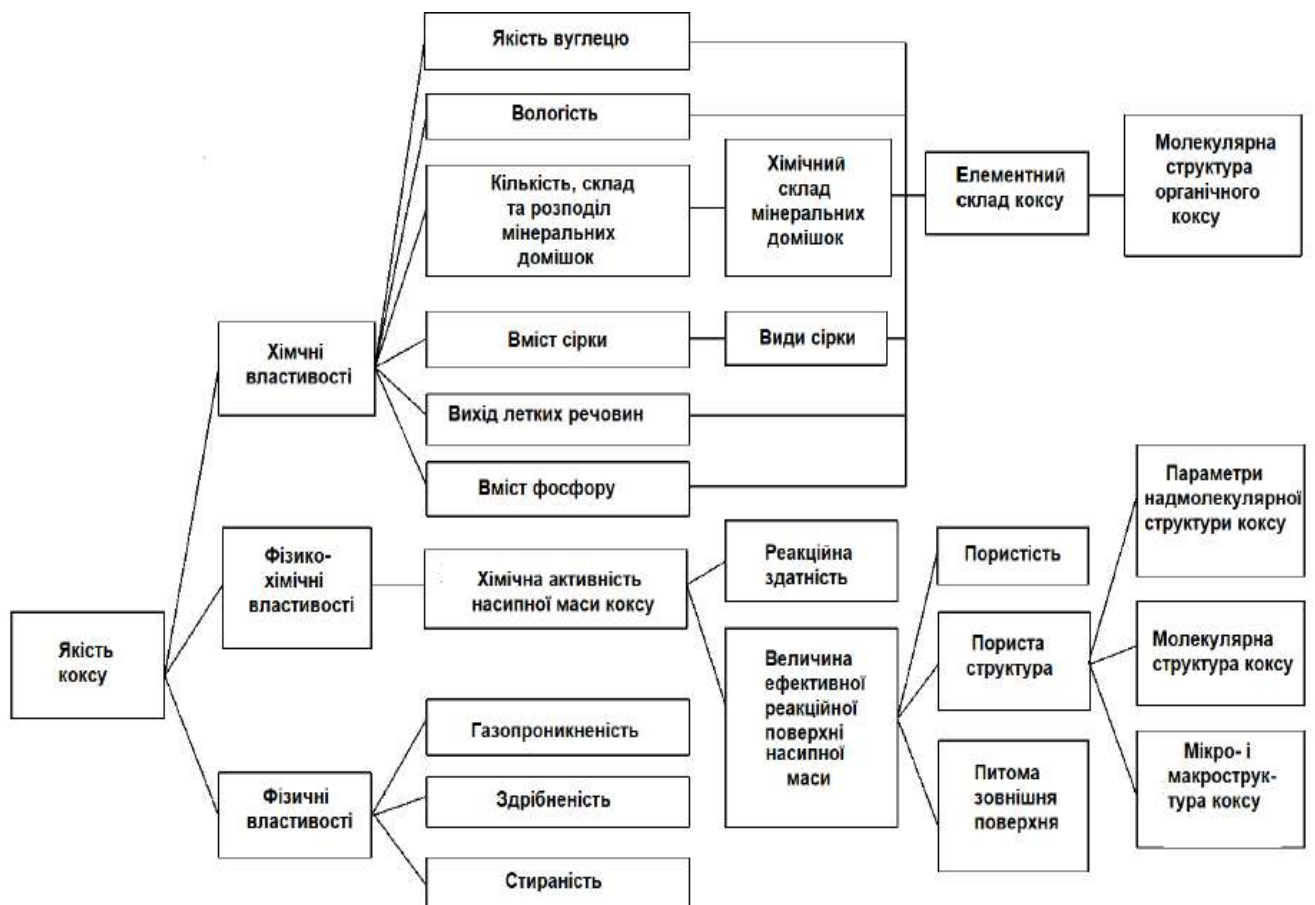


Рис. 1.1. Властивості коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [23]

1.2.1 Хімічні властивості коксу

Хімічний склад коксу визначається показниками його технічного та елементного аналізів. Технічний аналіз – це аналіз лабораторної проби коксу з метою визначення з неї вологості, зольності, сірчистості та виходу летких речовин (п. 4.6 ДСТУ 2401-94) [24].

Елементний склад (вміст вуглецю C^o , водню H^o , кисню O^o і азоту N^o) є загальноприйнятою характеристикою органічної маси вугілля. За даними елементного складу можна з достатнім ступенем точності визначити теплоту згоряння, теоретичну температуру горіння і склад продуктів горіння, вихід продуктів термічного розкладу і ступінь вуглефікації.

Вологість коксу знижує теплоту його згоряння, оскільки за збільшення вологості вміст горючої маси в коксі зменшується. Для випаровування вологи в доменній печі потрібна додаткова витрата палива (того ж таки коксу). Крім того, волога займає певну частину об'єму доменної печі, що знижує продуктивність виплавки чавуну.

Середня вологість доменного коксу по підприємствах України склала в 2018 р. 3,4 %. При цьому кокс сухого гасіння ПрАТ «Авдієвський КХЗ», охолоджений циркулюючими газами, містив 0,3-1,9 % вологи, головним чином адсорбованої з повітря. Кокс мокрого гасіння, охолоджений водою, мав значно більшу вологість, яка змінювалась від 3,2 % до 4,7 %. Коксовий горіх мав вологість від 13,9 % до 20,6 % (в середньому 15,5 %), а дрібняк – від 15,7 % до 21,8 % (в середньому 16,5 %).

Зольність коксу характеризує суму мінеральних речовин в складі коксу, виражену в процентах. Ці речовини в коксі є баластом. Вони зменшують вміст горючої маси в коксі та повинні виводитись до шлаку в ході доменного процесу, що потребує додаткової витрати тепла та флюсів (вапняку $CaCO_3$ та доломіту $CaCO_3 \cdot xMgCO_3$). Крім того, мінеральні речовини також займають певну частину об'єму доменної печі, що знижує продуктивність виплавки чавуну.

Неорганічні компоненти вугілля представлені різними мінералами, основні з яких силікати, оксиди, карбонати і сульфід.

Вміст вуглецю та водню за стандартом ISO 625-96 визначають традиційним для органічної хімії методом Ю. Лібіха.

Азот визначають згідно з методом Кьельдаля за стандартом ISO 333-96.

Метод прямого визначення кисню за ISO 1994-76 складний та не дуже точний, тому на практиці його використовують рідко, а вміст кисню визначають за різницею:

$$O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - S^{daf} \quad (1.1)$$

Елементний склад горючої маси промислового коксу знаходиться в наступних межах: вуглець 96-98%, водень 0,5-1,0%; кисень 0,2-1,5%; азот 0,5-2,0%.

Зі збільшенням кінцевої температури коксування, підвищенням ступеня готовності коксу знижується вихід летких речовин та в коксі зростає вміст вуглецю і знижуються масові частки водню і кисню.

Сірчистість коксу характеризує вміст в ньому всіх сірчистих сполук в перерахунку на сірку. Найбільш шкідливою домішкою у вугіллі є сірка, яка знаходиться у вигляді різних мінеральних сполук (піриту, марказиту, сульфатів заліза і кальцію). Вона збільшує витрату коксу та зменшує продуктивність доменної печі. Донецьке вугілля містить сірки від 0,4 до 9,5 %.

1.2.2 Фізичні властивості коксу

До фізичних властивостей коксу відносяться такі властивості, що не залежать від величини, форми і текстури його шматків. Механічна міцність обумовлює гранулометричний склад і шлакоутворення.

Молекулярна будова органічної маси коксу багато в чому визначається кінцевою температурою процесу. Основну термостійку частину органічної речовини коксу складає циклічний полімеризований вуглець, що утворює

циклічно впорядковані елементарні графітоподібні одиниці – плоскі сітки (блоки). Кількісно молекулярну будову оцінюють за даними рентгеноструктурного аналізу з використанням наступних показників:

d_{002} – середня відстань між сусідніми площинами у вуглецевих блоках (стала дифракційної решітки, утвореної вуглецевими графітоподібними шарами в структурі коксу), нм;

C_6 – частка вуглецю, що міститься в блочних структурах, %;

L_c – середньостатистичний розмір когерентних областей (блоків) в напрямку нормалі до площин вуглецевих шарів, нм;

L_a – середньостатистичний розмір вуглецевих шарів у площині, нм.

В коксі високої якості $d_{002} = 0,346-0,356$ нм (у графіту 0,336 нм), $C_6 = 72-88$ %; $L_c = 2,1-2,2$ нм; $L_a = 5-6$ нм. З підвищенням кінцевої температури величини d_{002} та L_c знижуються, а C_6 та L_a збільшуються.

Густина коксу має бути високою. Пористість доменного коксу, отриманого з петрографічно однорідного вугілля – 45-55 %, з петрографічно неоднорідного вугілля вона менша – 35-40 % [25].

Питомий електричний опір для коксу високої готовності складає 3,5-5,0 Ом·см. Серед різних класів крупності найбільший електричний опір мають класи менше 10 мм та 10-25 мм, а найменший – клас 25-40 мм. Оскільки питомий електроопір коксу практично залежить тільки від температурного режиму, величина питомого електроопору може бути характеристикою температурних умов коксування.

Опір коксу розчавлюють зусиллям (опір стисненню) визначають при випробуванні шматків коксу без зовнішніх тріщин на відповідних апаратах. Вважають, що звичайний кокс, що застосовуються в практичних умовах доменної плавки, задовольняють вимогам доменного процесу в цьому відношенні.

Структурна міцність – міцність коксу, позбавленого тріщин. Структурна міцність якісного коксу становить 80-90 %.

Абразивна твердість за методом Є.В. Гінсбургу (ДП «УХІН») оцінюється за втратою маси алюмінієвої пластинки стандартних розмірів за випробування коксу в спеціальному приладі. Останнім часом почали перевіряти на стиск розпечені зразки коксу, бо, на загальну думку, розпечений кокс має значно менший опір стиснення.

Вища теплота згоряння горючої маси коксу в першу чергу залежить від елементного складу коксу. Оскільки ця характеристика для коксу потрібної готовності змінюється в досить вузьких межах, то й вища теплота згоряння різних зразків коксу близька до середніх значень та складає 32,5-33,4 МДж/кг.

Нижча теплота згоряння змінюється в ширших межах в залежності від вологості та зольності коксу [25].

Температура спалахування коксу знаходиться в межах 470-650 °С та зростає зі збільшенням кінцевої температури коксування та розміру кусків матеріалу, з якого приготований зразок для дослідження.

Середня питома теплоємність коксу знаходиться в межах 1,4-1,5 кДж/(кг·К). Як і у більшості твердих тіл, зі збільшенням температури теплоємність коксу зростає. Теплоємність коксу (на суху масу) залежить від вмісту в ньому вуглецю, виходу летких речовин і зольності. У холодному стані теплопровідність залежить ще і від вологості коксу. При підвищенні температури кінця коксування теплопровідність коксу збільшується.

Коефіцієнти теплопровідності монолітного куску коксу за нормальної температури становить 0,46-0,93 Вт/(м·К), а за 1000 °С 1,7-2,0 Вт/(м·К). За підвищення кінцевої температури коксування коефіцієнт теплопровідності коксу збільшується.

Пористість становить зазвичай 85-95% загальної пористості. Діаметр пор коливається в межах від 90 до 1200 мкм. Питомий електроопір або зворотну величину – питому електропровідність часто використовують в практичній роботі при оцінці якості коксу і характеристиці температурного режиму коксування. Цей показник визначають як для монолітного шару коксу, так і для коксового порошку [25].

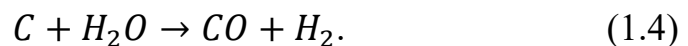
1.2.3 Фізико-хімічні властивості коксу

До цієї групи властивостей відносяться горючість, реакційна здатність, змочуваність.

Горючістю називається хімічна активність коксу, що визначається пропусканням повітря або кисню через розпечений кокс. Вона характеризує швидкість згоряння коксу.

Реакційна здатність коксу – це хімічна активність, яка визначається пропусканням вуглекислого газу або пари через шар розпеченого коксу при певній температурі. Деякі автори замінюють термін «реакційна здатність» терміном «відновна здатність».

Реакційна здатність коксу – це здатність коксу реагувати за певних температурних умов з газоподібними окисниками [24]:



Методика визначення реакційної здатності коксу японської фірми Nippon Steel Corporation передбачає газифікацію коксу крупністю 19,0-22,4 мм (приготовлену з вихідного коксу крупністю більше 25 мм) в спеціальній установці протягом 2 годин та визначення реакційної здатності CRI (coke reactivity index) за ступенем втрати маси та міцності коксу після реакції з діоксидом вуглецю CSR (coke strength after reaction) за виходом класу більше 9,5 (10) мм після обробки протягом 30 хв в спеціальному барабані довжиною 700 мм та діаметром 130 мм, що обертається зі швидкістю 20 об/хв:

$$CRI = \frac{m_k - m_o}{m_k} 100\%, \quad (1.5)$$

$$CSR = \frac{m_{>9.5}}{m_o} 100\%. \quad (1.6)$$

Переваги методу: широке використання в світовій практиці для контролю якості коксу за його виробництва, продажів та застосування.

Недоліки: трудомісткість підготовки проби з вузькими межами за крупністю; тривалість визначення; міцність коксу оцінюють після реакції, тобто механічний вплив відбувається неодноразово з хімічним та термічним; крупність випробуваного коксу відрізняється від фактичної. Метод стандартизований стандартом ISO 18894:2006, на підставі якого розроблений ДСТУ 4703:2006. Якісний кокс повинен мати показники $CRI < 30\%$; $CSR > 70\%$.

1.2.4 Фізико-механічні властивості коксу

До цієї групи властивостей відносяться характеристики: крупність, тріщинуватість, форма шматків. Від цих властивостей коксу залежить його дробимість і стираність.

Правильніше було б назвати фізико-механічними властивостями насипної маси, розуміючи під насипною масою сукупність шматків і пустот між ними в стані насипу в даному об'ємі. При цьому крупність, форма і рівномірність шматків визначають властивості насипної маси коксу в кожен даний момент, а міцність шматків коксу, тобто їх здатність чинити опір зусиллям, що здрибнюють та стирають, є фактор стабільності властивостей насипної маси коксу при впливі на неї руйнуючих сил.

Ситовий, або гранулометричний, склад визначається розсіванням проби коксу на декількох ситах з певними розмірами отворів. Кокс ділиться на шматки розмірами більше 80мм, 60-40 і менше 25 мм. Всі шматки, які пройшли через сито з великими отворами і залишилися на наступному за розмірами ситі з меншими отворами, утворюють клас коксу. Замість того, щоб визначати число шматків в кожному класі, знаходять загальну масу їх обчислюють відсоток

вмісту в коксі класу кожного інтервалу крупності. Таким чином, розподіл шматків за розмірами характеризується процентним вмістом в коксі шматків дискретних класів крупності.

Ситовий склад коксу залежить як від технологічних факторів його виробництва, так і від властивостей вихідної сировини. Незважаючи на те, що ситові розсіви коксу тривалий час застосовуються і в дослідницькій, і у виробничій практиці, вони не отримали ще належного використання, очевидно, через недостатню наочності табличного оформлення, результатів ситового аналізу.

1.3 Сучасні вимоги до якості коксу

Хімічний склад золи коксу в значній мірі залежить від мінералогічного складу. Основні елементи (Fe, Ca, Mg, лужні метали) утримуються в мінералах, які хімічно активні при температурі випробування на реакційну здатність і руйнують структуру коксу. Підвищена основність золи представляється фактором, що підсилює реакційну здатність коксу, а з іншого боку, силікати в коксі не проявляють активності при коксуванні вугілля.

Нормативні вимоги до якості різних видів коксу у відповідності з діючими нормативними документами наведені в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Якість коксу доменного за ТУ У 322-00190443-114-96

Марка	Клас, мм	$A^d \leq$ %	$S_t^d \leq$ %	$W_t^r \leq$ %	$M_{25} \geq$ %	$M_{10} \leq$ %	$80 \leq$ мм	$60 \leq$ мм	$25 \leq$ мм	$V^{daf} \leq$ %
КД	25-60	12	2	5	86	7,8	-	20	4	1,2
КД1	>25	11	2	5	86	7,5	11	-	3,5	1,2
КД2	>25	12	1,6	5	84	8	15 ¹	-	4	1,2
КД3	>25	13	1,3	5	82	9	20	-	4,5	1,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [26]

Загальнодержавні ТУ У 322-00190443-114-96 призначені для поставок коксу доменного для виплавки чавуну без застосування пиловугільного палива.

Технічні умови ТУ У 19.1-00190443-065:2015 (Таблиця 1.2) передбачають для підприємств ТОВ «Метінвестхолдінг» два рівня якості коксу. Кокс марки КДМ1 має більш високі показники якості та призначений для використання в доменних печах одночасно з пиловугільним паливом, а кокс марки КДМ2 призначений для доменних печей без використання пиловугільного палива. В усіх вказаних документах вологість не є бракувальним показником, а призначена лише для розрахунку із споживачами.

Таблиця 1.2

**Вимоги до властивостей коксу поліпшеного класу якості (%) за
ТУ У 19.1-00190443-065:2015**

Показники	$A^d \leq$	$S^d \leq$	$W^r \leq$	$M_{25} \geq$	$M_{10} \leq$	>80 \leq	<25 \leq	CRI, \leq	CSR, \geq	$V^{daf} \leq$
КДМ1	11,4	0,8	5,0	88,5	7,2	10	3,0	34,0	50,0	0,8
КДМ2	11,4	1,2	5,0	88,0	7,6	12,0	4,0	40,0	43,0	0,8
Методи визначення	ISO 1171	ДСТ У 3528	ДСТУ ISO 579	ДСТУ 2206 (ISO 556)		ДСТУ 7602 (ISO 728)		ДСТУ 4703 (ISO 18894)	ДСТУ 4703 (ISO 18894)	ISO 562

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [26]

1.4 Фактори формування високої якості коксу

Відомо, що головний вклад в формування якісних характеристик коксу вносять технологічні характеристики вугілля. В структурі геологічних запасів і добичі вугілля в Україні, переважають малометаморфізоване вугілля з високим виходом летких речовин і низьким показником відбиття вітриніту. Доля вугілля для коксування високої стадії метаморфізму (з середнім показником відбиття вітриніту більше 1,00%) в сировинній базі коксохімічних підприємств України незначна. В результаті цього, не дивлячись на залучення в якості опіснюючих

компонентів шихти вугілля інших басейнів, вихід летких речовин з сухої беззольної шихти на коксохімічних підприємствах складає 29-32 %, а середній показник відбиття вітриніту лише трохи перевищує 1,0 %.

Загалом, збільшення частки вищезгаданих компонентів завжди негативно впливає на якість коксу через їх негативний вплив на розвиток плинності, що призводить до утворення гірших або неплавких складових і зменшення об'ємної щільності вугільної шихти. Деякі з них є донорами слабовпорядкованих, високореактивних вуглецевих структур. Усі ці елементи мають вирішальне значення для формування технологічних параметрів.

Мінімізація або навіть усунення цих недоліків полягає в одночасному впровадженні методів збільшення об'ємної щільності вугільної шихти, що позитивно впливає на якість коксу (особливо механічну міцність), і таким чином дозволяє використовувати більшу частку дешевших складових у вугільній суміші [27, 28].

В результаті збільшення об'ємної щільності ми можемо покращити якість коксу або підтримувати його якість зі збільшеним вмістом компонентів суміші нижчої якості, що може знизити його вартість. Покращення об'ємної щільності вугільної шихти можна досягти кількома способами: коригуванням розподілу розмірів зерен або вмісту вологи (сушіння), додаванням масел або механічною обробкою (наприклад, частковим брикетуванням або трамбуванням).

Найефективнішим методом є використовувати технологію трамбування вугільної шихти – технологію трамбування – що дозволяє збільшити щільність завантаження на 30–40% порівняно з коксовими батареями з верхнім завантаженням. На жаль, використання цієї технології можливе лише у разі будівництва нових коксових батарей або реконструкції старих (зміна технології з верхнього завантаження на брикетування).

Інші методи можна застосовувати до існуючих батарей з верхнім завантаженням, які вже експлуатуються. Процеси брикетування широко використовуються для ущільнення різних видів гранульованих матеріалів [29–32].

Виробництво коксу за технологією часткового брикетування вугільної сировини полягає в брикетуванні (ущільненні) частини вугільної суміші (зазвичай 20–30%) та подальшому змішуванні цієї частини з рештою, яка не була ущільнена. Процес ущільнення зазвичай здійснюється за допомогою гідравлічних валкових пресів з регульованим притискним зусиллям. Як правило, для отримання відповідної механічної міцності вироблених брикетів можна додавати кілька відсотків сполучної речовини, наприклад, кам'яновугільної смоли або кам'яновугільного пека. Рецептури (пропорції окремих компонентів) для частини суміші, що брикетується, та пухкої (неущільненої) частини можуть бути однаковими або різними.

Показники реакційної здатності відображають взаємодію вуглецю коксу з діоксидом вуглецю в умовах наближених до умов перебігу хімічних реакцій в доменній печі. Добре відомо, що вуглець коксу є композицією впорядкованого (анізотропного) і невпорядкованого (ізотропного) вуглецю (Рис. 1.2).

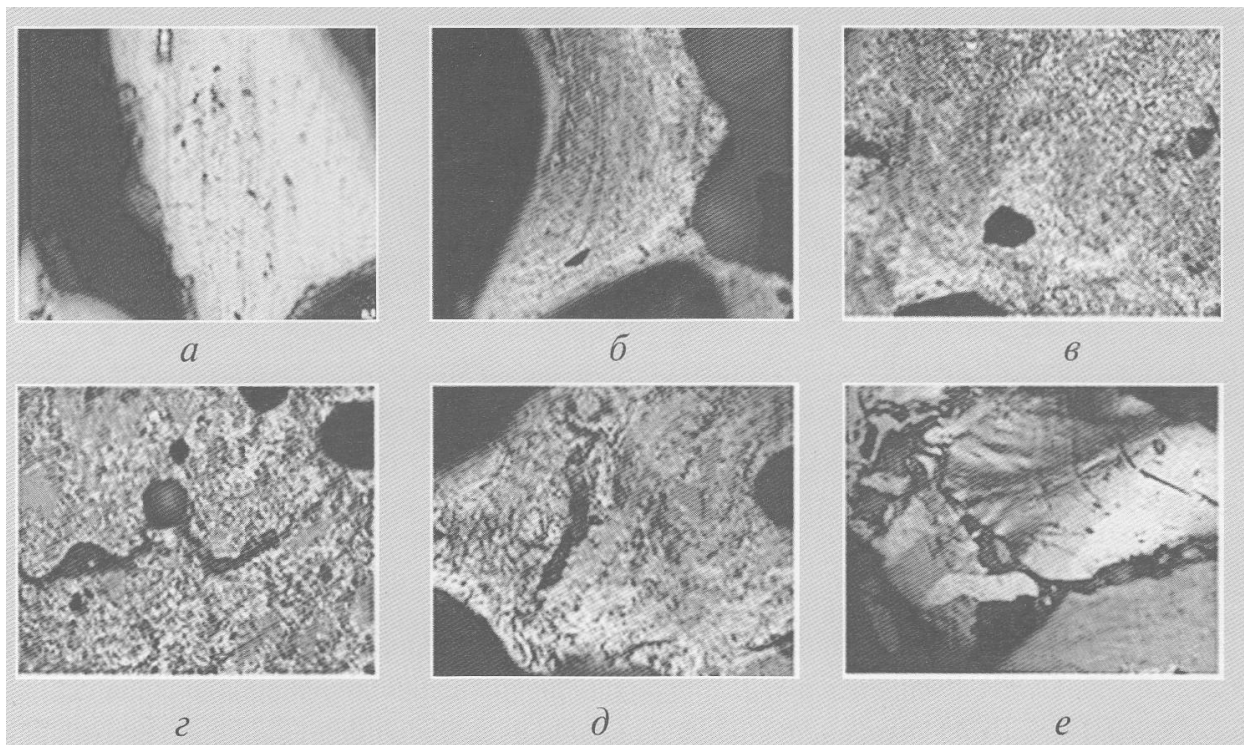


Рис. 1.2 Різні типи структур коксу (поляризоване світло, $\times 400$):

a – ізотропна структура коксу з вугілля марки Г; *б* – дрібномозаїчна анізотропія коксу з вугілля марки ГЖ (розмір анізотропних утворень 0-0,5 мкм),

ϵ – середньомозаїчна анізотропія в коксі з вугілля марки Ж (розмір анізотропних утворень 1,5-2 мкм); ζ – крупномозаїчна структура в коксі з вугілля Ж (розмір анізотропії 8-12 мкм); δ – струменева структура в коксі з вугілля марки К (до 12 мкм); e – елементи пластичної анізотропії коксу з вугілля марки ПС (до 25 мкм).

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Відповідно, реакційна здатність коксу є брутто показником і відображає хімічну активність всіх компонентів вуглецевої композиції підчас реакції з діоксидом вуглецю. Ізотропна структура характерна для коксів отриманих з вугілля з показником відбиття вітриніту $R_0 < 0,8 \%$. Зі зростанням показника відбиття вітриніту у вихідному вугіллі збільшується кількість анізотропних структур в отриманому коксі і їх розміри. Анізотропна фаза вуглецю коксу також неоднорідна. Було визначено, що чим більша загальна кількість анізотропного вуглецю в коксі і чим крупніші розміри його структури, тим нижче реакційна здатність.

Очевидно, що анізотропна (кристалічна) частина вуглецю коксу побудована практично без участі мінеральних компонентів золи і гетероатомів, які залишаються в ізотропній частині структури коксу, утворюють на його частині дефекти структури – активні центри взаємодії з діоксидом вуглецю та іншими реагентами. При цьому структурно впорядкований вуглець має реакційну здатність тим меншу чим більше він впорядкований. Це підтверджується результатами досліджень інших вуглецевих матеріалів – пекового і нафтового коксу, а також піровуглецевих відкладень з підсклепінного простору коксової печі. Результати оптичних досліджень представлені на рисунку 1.3, відображають практично цілковиту анізотропію цих матеріалів.

При цьому ступінь впорядкованості вуглецю збільшується в ряду:

Пековий кокс → нафтококс → піровуглець

Результати досліджень реакційної здатності і післяреакційної міцності анізотропних матеріалів по ДСТУ 4703 приведені в таблиці 1.3.

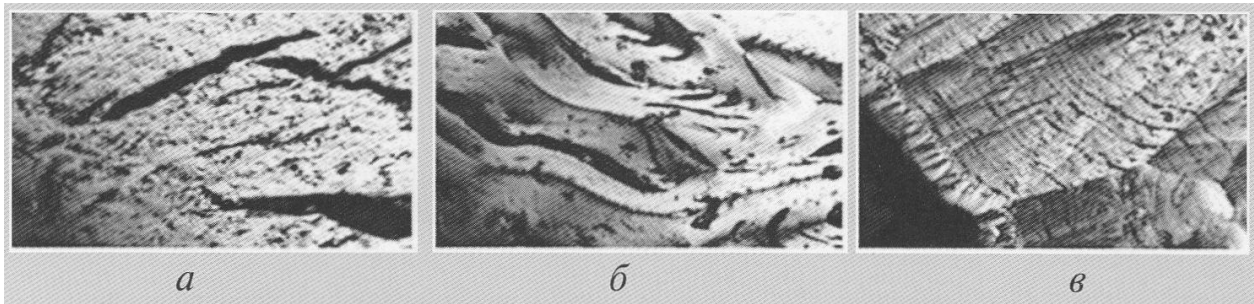


Рис. 1.3 Мікроструктура (поляризоване світло, $\times 400$): а – пекового коксу; б – нафтового голчатого коксу; в – піровуглецю з підсклепінного простору коксової печі.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Таблиця 1.3

Реакційна здатність CRI і післяреакційна CSR міцність анізотропних матеріалів

Зразок	CRI, %	CSR, %
Пековий кокс	15,8	76,2
Нафтовий кокс	14,0	75,3
Піровуглець	12,1	73,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Таким чином, отримані експериментальні дані підтверджують зниження реакційної здатності і зростання післяреакційної міцності анізотропних матеріалів зі зростанням ступеня їх впорядкованості.

1.5 Нафтовий кокс

Кокс нафтовий (англ. refinery coke) – тверда пориста речовина від темно-сірого до чорного кольору (рис. 1.4), що є продуктом коксування (прожарювання) важких залишків нафти.



Рис. 1.4 Нафтовий кокс

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [33]

Нафтовий кокс застосовується у виробництві анодів для виплавки алюмінію, спеціальних графітованих електродів для одержання електролітичної сталі тощо.

Як сировину для нафтового коксу використовують відбензинені нафти, залишки первинної переробки – мазути, напівгудрони і гудрони, продукти вторинного походження – крекінг-залишки, важкі газойлі каталітичного крекінгу, смоли піролізу, а також природні асфальти і залишки масляного виробництва (асфальти, екстракти).

Усереднений елементний склад нафтового коксу: 90-96% С, 4-6% Н, 0,1—2% S. При дуже низькій зольності 0,1 – 0,8%, що є перевагою для його використання в якості компоненту вугільної шихти.

Промислові процеси коксування поділяють на три типи: безперервні, напівбезперервні і періодичні, найбільше поширення на сьогодні має напівбезперервний процес в установках уповільненого коксування, що протікає при 505–515 °С під тиском 0,2-0,3 МПа. У результаті коксування, крім нафтового коксу, одержують бензин, газ, середні й важкі коксові дистилати, вихід і якість яких залежить від хімічного і фракційного складу сировини [34].

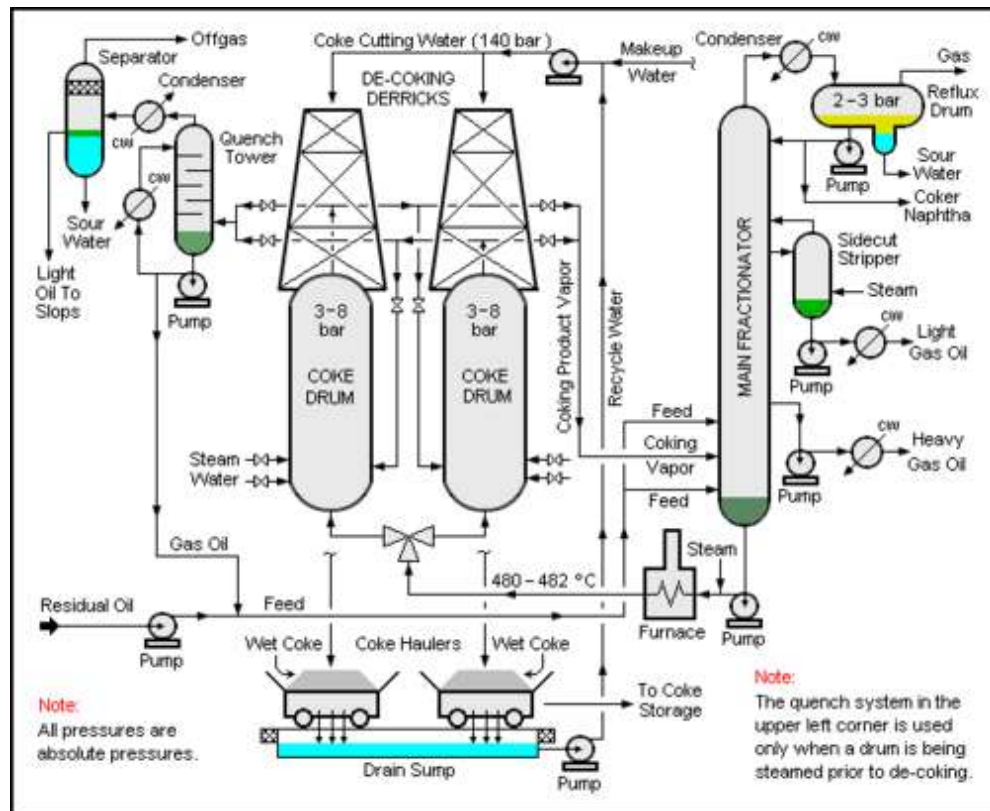


Рис. 1.5 Установка коксування

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34]

У сучасній промисловій системі нафтовий кокс є побічним продуктом нафтопереробки і відіграє ключову роль. Завдяки своїм унікальним фізичним і хімічним властивостям він інтегрований у низку ключових галузей промисловості, таких як енергетика, металургія, хімічна промисловість і нова енергетика. Він має широкий спектр застосування, що не тільки підтримує ефективну роботу існуючих галузей промисловості, але й створює міцну матеріальну основу. Але й створює міцний матеріальний фундамент для майбутніх технологічних інновацій та модернізації промисловості [34].

1.5.1 Характеристики нафтового коксу

Вміст вуглецю в ньому зазвичай сягає 80%-95%, завдяки чому він має високу теплотворну здатність і може виділяти багато енергії.

Зольність високоякісного нафтового коксу низька, як правило, в межах від 0,1% до 1%. Це дає йому очевидні переваги в сценаріях застосування з високими вимогами до вмісту домішок.

Структура розташування атомів вуглецю всередині нього надає йому певну електропровідність, що закладає основу для його застосування в галузях, пов'язаних з електрикою.

В умовах високої температури він може зберігати відносно стабільні фізичні та хімічні властивості. І його нелегко розплавити або розкласти.

Ці характеристики тісно пов'язані з його широким використанням. Високий вміст вуглецю та низька зольність роблять його високоякісним паливом, яке можна ефективно спалювати для виділення енергії. При цьому зменшується негативний вплив домішок під час горіння. Хороша електропровідність і стійкість до високих температур дозволяють йому відігравати певну роль у металургійній та електротехнічній промисловості. Для задоволення потреб в особливих умовах [34].

1.5.2 Використання нафтового коксу

1.5.2.1 Використання нафтового коксу в паливній галузі

Енергетична галузь Це важливе паливо для виробництва електроенергії. Завдяки високому вмісту вуглецю та високій теплотворній здатності під час згоряння виділяється багато теплової енергії, яка нагріває воду для виробництва пари, що приводить у рух парові турбіни для вироблення електроенергії. Порівняно з вугіллям, нафтовий кокс спалює менше забруднюючих речовин і має менший тиск на навколишнє середовище. Деякі великі нафтові електростанції змішують його з іншими видами палива, щоб оптимізувати ефективність згоряння, знизити витрати. І забезпечити більш ефективний та екологічно чистий варіант постачання електроенергії [34].

Промисловий котел Багато підприємств покладаються на промислові котли для опалення, і це стало ідеальним паливом завдяки високій теплотворній

здатності та стабільному горінню. Паперова, хімічна, харчова та інші галузі промисловості зазвичай використовують його для спалювання в промислових котлах. Для забезпечення виробництва парою і теплом, необхідними для виробництва. Стабільні характеристики горіння роблять роботу промислових котлів більш надійною, ефективно підвищують ефективність виробництва і забезпечують стабільне виробництво в різних галузях промисловості.

1.5.2.2 Використання нафтового коксу в металургійній промисловості

Електроліз алюмінію Електроліз алюмінію використовує глинозем як сировину для електролітичного алюмінію, а нафтовий кокс як анодний матеріал має вирішальне значення. При високій температурі і сильному струмі він реагує з глиноземом, утворюючи метали алюміній і вуглекислий газ. Це може підвищити провідність і стабільність анода, зменшити споживання анода, знизити собівартість виробництва алюмінію. І це покращує якість виробництва алюмінію, який є ключовим матеріалом у процесі виплавки алюмінію.

Виплавка сталі У сталеплавильному виробництві його в основному можна використовувати як джерело вуглецю. У конвертерному виробництві сталі, щоб відрегулювати вміст вуглецю в рідкій сталі, необхідно додати вуглець. І це ідеальний карбюризатор з високим вмістом вуглецю і меншою кількістю домішок, який не вплине на якість сталі. Точно контролюючи кількість додавання, можна ефективно регулювати хімічний склад сталі. Щоб задовольнити виробничі вимоги різних сталей і допомогти металургійній промисловості виробляти диверсифіковану продукцію [34].

1.5.2.3 Використання нафтового коксу у виробництві вуглецевих продуктів

Виробництво графітових електродів Графітовий електрод є ключовим витратним матеріалом для електросталеплавильного виробництва та виплавки алюмінію, основною сировиною для якого є нафтовий кокс. Через складний процес прожарювання та замішування він перетворюється на графітовий

електрод з високою провідністю, міцністю та стійкістю до високих температур. Під час виплавки сталі в електропечі подається електричний струм. Щоб розплавити сталевий брухт при високій температурі в печі, значно підвищуючи ефективність виплавки сталі [34].

Виробництво карбіду кремнію У виробництві ви можете використовувати нафтовий кокс як джерело вуглецю, який реагує з кварцовим піском у високотемпературній електричній печі для отримання карбіду кремнію. Його чистота та розмір частинок впливають на якість продукції. Контролюючи сировину та процеси, ви можете виробляти високоякісну продукцію, що використовується в абразивній та інших галузях.

Виробництво електродної паст Електродна паста використовується для проведення електрики в мінеральній печі, а нафтовий кокс є однією з основних сировинних матеріалів. Змішайте його зі сполучною речовиною, такою як кам'яновугільний пек, відповідно до пропорції, нагрійте і замісіть суміш, тоді ви зможете виготовити електродну пасту. При високій температурі рудної печі ви можете спалити її, щоб утворився струмопровідний електрод з високою механічною міцністю. Він стабільно постачає енергію для реакції в печі.

Виробництво щіток Для виготовлення щіток можна використовувати спеціально оброблений нафтовий кокс. Його електропровідність і зносостійкість можуть забезпечити стабільну роботу щітки, коли двигун обертається на високій швидкості. А також зменшити знос та іскріння, зменшити втрати та покращити продуктивність двигуна [34].

Матеріали негативних електродів для нової енергетики Ви можете використовувати глибоко перероблений нафтовий кокс як анодний матеріал для літєвих батарей. Він має нижчу вартість і вищу питому ємність, ніж традиційний графітовий анод. Його модифікація та оптимізація можуть покращити електрохімічні характеристики та задовольнити високі вимоги до щільності енергії та тривалості циклу літєвих батарей.

1.5.2.4 Інші сфери застосування нафтового коксу

Приготування активованого вугілля Нафтовий кокс є сировиною для приготування активованого вугілля. Його можна перетворити на активоване вугілля з добре розвиненими порами і великою питомою поверхнею шляхом фізичної або хімічної активації. Він має сильну адсорбцію і часто використовується для очищення води, повітря та знебарвлення харчових продуктів. При очищенні питної води активоване вугілля на основі нафтового коксу може видаляти неприємні запахи, пігменти та органічні забруднювачі і покращувати якість води [34].

Ливарна промисловість Під час лиття ви можете використовувати його як вуглецевий підйомник і нагрівальний агент. Завдяки високому вмісту вуглецю, він регулює вміст вуглецю у виливках. Під час горіння виділяється багато тепла, яке може підвищити температуру рідкого металу, сприяти його течії та наповненню. Таким чином покращуючи якість виливків і забезпечуючи безперебійний процес лиття.

Адсорбент Після спеціальної обробки властивості пор і поверхні змінюються і набувають адсорбційних властивостей. Він може поглинати іони важких металів у стічних водах, органічні забруднювачі та шкідливі гази у відпрацьованих газах. При очищенні промислових стічних вод адсорбенти з нафтового коксу можуть зменшити концентрацію забруднюючих речовин. І це допомагає скиданню стічних вод відповідати стандартам.

Каталізатор Ви можете використовувати нафтовий кокс як носій каталізатора, завантажений активними компонентами для каталітичної реакції. Він має хорошу хімічну стабільність і механічну міцність, може міцно підтримувати активний компонент, покращувати активність і селективність каталізатора. Він відіграє ключову роль у нафтохімії, органічному синтезі та інших реакціях [34].

Реагент У деяких хімічних реакціях його можна використовувати як реакційний агент для участі в них. Наприклад, у виробництві карбіду кальцію, який реагує з вапном при високій температурі, утворюючи карбід кальцію. Його

реакційна здатність і вміст вуглецю безпосередньо впливають на ефективність виробництва і якість карбїду кальцію. Це важлива сировина для виробництва карбїду кальцію [34].

Нафтовий кокс - це багатофункціональна промислова сировина, яка завдяки своїм унікальним характеристикам широко використовується в паливній, металургійній, хімічній промисловості та інших галузях. З розвитком технологій сфери його застосування розширюватимуться, а продуктивність оптимізуватиметься. Тож використання його як високовуглецевий, низькозольний компонент вугільної шихти досить виправдане.

1.5.3 Світовий ринок нафтового коксу

Найвищим типом нафтового коксу та коксу на основі кам'яновугільної смоли є голчастий кокс. Кокс є побічним продуктом процесу переробки нафти та газифікації вугілля і використовується як паливо для виробництва заліза, сталі та анодів для алюмінієвих заводів. Високоякісні графітові електроди надвисокої потужності (УНР) і катодні електроди для плавлення металобрухту для переробки сталі в електродугових печах (ЕСП) виготовляються з голчастого коксу.

Для виробництва голчастого коксу виділення важкої фракції ароматичної сировини необхідно проводити в установці фракціонування. Потім товсту фракцію подають у коксохімічну установку для досягнення температури коксування (3000 °С). Робота печі є критичною, оскільки вона повинна «затримувати» подачу для досягнення бажаної температури. Це мінімізує утворення коксу в печі. Таким чином, ефективне вилучення голчастого коксу здійснюється на цьому етапі, який подібний до уповільненого коксування.

Залежно від типу голчастого коксу ринок сегментований на нафтогазові та кам'яновугільні смоли. Голковий кокс є основними нагрівальними елементами, що використовуються в електродуговій печі (ДСП) для виготовлення сталі. Брухт зі старих автомобілів або приладів плавиться, утворюючи сталь. Сталева

піч EAF вимагає високоякісного коксу для виробництва графітових електродів. Попит металургії на спеціальні кокси зростає для UHP (Ultra High Power) EAF для виробництва сталі. Розвинені економіки мають величезний попит на сталь та алюміній завдяки високому споживанню в автомобілях, важкому обладнанні та механізмах, літаках, серед іншого.

Графітізовані катоди використовуються у виробництві алюмінію, а графітові електроди - у виробництві сталі. Таким чином, графітізація електродів у виробництві металів призвела до високого попиту на голчастий кокс у всьому світі.

За сортністю голчастий кокс поділяється на кокс вищого класу, середнього вищого та голчастого коксу. Основний голчастий кокс має найвищий коефіцієнт теплового розширення (КТР), який становить менше $0,65 (10^{-6} \text{ }^\circ\text{C})$. Вміст сірки менше 0,6% і водню в межах 0,035-0,055%. Кокс середнього вищого класу має КТР менше $0,5 (10^{-6} \text{ }^\circ\text{C})$. Вміст ксилолу становить $2,12 \text{ г/см}^3$, а вміст водню подібний до базового преміального типу. Голчастий кокс супер-преміум має вміст сірки менше 0,4%. Коефіцієнт теплового розширення менше $0,4 (10^{-6} \text{ }^\circ\text{C})$.

Найбільші світові виробники голчастого коксу також мають голчастий кокс преміум-класу з КТР, що становить $0,1 (10^{-6}/^\circ\text{C})$. За ознакою кінцевого споживача ринок сегментується на металургійну промисловість, алюмінієву промисловість, атомні електростанції та інші (літєві батареї, аерокосмічні тощо).

ОАЕ, Китай та Японія є провідними світовими виробниками голчастого коксу. Індія, Росія, Німеччина і Великобританія є іншими великими країнами, де базується виробництво голчастого коксу та графітових електродів. Найбільшим у світі виробником голчастого коксу є Conoco Phillips (Phillips 66). У світі є лише 2 компанії, які отримують голчастий кокс із кам'яновугільного пеку. Обидві компанії є в Японії. Очікувалося, що станом на 2021 рік світове виробництво сталі на основі EAF матиме високі темпи зростання. Це призвело до такого ж зростання попиту на графітові електроди. Зрештою, очікується, що зростання попиту на графітові електроди спричинить попит на голчастий кокс [35].

Всі ці виробники крім отриманого цільового продукту отримують і побічну (викиди) продукцію, так звані сколи і залишки чистки апаратів і установок. Ці продукти можуть використовуватися як вуглецева сировина на електростанціях і у виробництві кам'яновугільного коксу, як компонент вугільної шихти.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Метою даної роботи було дослідження впливу добавок нафтового коксу до вугільних шихт на якість коксу базових складів і коксів з додаванням нафтового коксу. Основний акцент аналізу спрямований на механічні характеристики коксу та реакційну здатність і післяреакційну міцність. Аналіз проведений в аналітичній частині роботи показує, що за вмістом золи і сірки участь нафтового коксу в шихті не призведе до погіршення цих показників в коксі, а інколи і навпаки поліпшить ситуацію.

Застосування нафтового коксу в якості добавки до коксування добре відомо. Однак у зв'язку з тим, що тиск на коксохіміків з метою зниження собівартості коксу знову посилюється питання про використання нафтового коксу в якості дешевого компонента знову актуально.

В залежності від якості нафтового коксу, особливо за показником спікливості у вугільній шихті на коксування можна ним замінити:

- якщо нафтовий кокс володіє високою спікливістю та має підвищений вихід летких речовин то високоспікливий компонент з високим виходом летких речовин – марки ГЖ, Ж;
- якщо нафтовий кокс має низьку спікливість або немає її зовсім при низьких значеннях виходу летких речовин то можемо замінити ним високометаморфізоване вугілля – марки ПС, яке наразі є найдефіцитнішим.

2.1 Лабораторні дослідження карбонізації нафтового коксу в порівнянні з вугіллям

Було використано два види вугілля, одне американське (А) та одне австралійське (В), а також один нафтовий кокс. Основні характеристики вугілля наведено в Таблиці 2.1 Обидва види вугілля були середньо-леткими. Вміст летких

речовин у нафтовому коксі, що становив 13,8 мас.%, вказував на те, що це уповільнений кокс.

Таблиця 2.1

Характеристики використаного вугілля

Показники	Вугілля А	Вугілля В
Вологість, W^r , %	7,8	9,1
Зольність, A^d , %	5,6	10,0
Вихід летких речовин, V^d , %	23,4	21,3
Вміст сірки, S_t^d , %	0,73	0,61
Кількість набухання	8	8
Показник відбиття вітриніту, R_o , %	1,21	1,27
Плинність за Гізелером (ddpm)	1118	1158

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [37]

Вугілля подрібнювали до 95 мас.% < 2,8 мм, а нафтовий кокс подрібнювали до трьох розмірів: < 0,212 мм, 0,42-0,6 мм та 1-2 мм. Вугілля карбонізували до 1000°C окремо або в суміші з добавкою в атмосфері азоту в невеликій печі ємністю 300 г, з одноразовим нагріванням.

Для всіх завантажень використовувалася насипна щільність 860 кг/м³. При дослідженні впливу розміру частинок кількість доданого нафтового коксу становила 10 мас.%. Пізніше матеріал розміром < 0,212 мм, отриманий та після нагрівання в азоті до 100°C, був використаний для вивчення впливу збільшення вмісту нафтового коксу в сумішах з вугіллям А.

Для оцінки крихкості коксу десять невеликих коксових циліндрів діаметром 10 мм та висотою 10 мм разом із трьома сталевими кульковими підшипниками діаметром 8 мм були завантажені в циліндр з нержавіючої сталі довжиною 305 мм та внутрішнім діаметром 25 мм, герметично закритий

сталевими пилозахисними ковпачками. Під час випробування ці циліндри оберталися 3000 разів зі швидкістю 30 об/хв.

Зазначений індекс крихкості стосується відсотка від початкової ваги коксу, що пройшов через сито 1 мм після випробування.

2.1.1 Дослідження за допомогою оптичного мікроскопа

Для підготовки зразків до оптичної мікроскопії 10-14 циліндричних шматків коксу були закріплені в епоксидній смолі для формування блоків діаметром 50 мм. Верхню поверхню, що містить кокс, потім згладжували за допомогою карбід-кремнієвого паперу перед поліруванням дрібним оксидом алюмінію або алмазною пастою з розміром 1 мкм.

Для вимірювання текстурного складу коксу та оцінки якості наявних інтерфейсів поліровані поверхні досліджували за допомогою поляризаційного мікроскопа, оснащеного схрещеними полярами та повнохвильовою пластиною-уповільнювачем.

Текстурні компоненти вугілля оцінювали за класифікацією [37-38], наведеною в Таблиці 2.2.

Інтерфейси між реакційноздатними компонентами коксу, тобто тими, що утворюються з реакційноздатних складових вугілля, та нафтовим коксом характеризували [S] як перехідні (T), плавлені (Fu), тріщинуваті (Fi) або неплавлені (U), як описано в Таблиці 2.3, залежно від ступеня та типу наявного контакту.

Дані про текстурний склад отримували за допомогою збільшення 1000x шляхом точкового підрахунку в 500 позиціях на поверхні коксу кожного полірованого блоку. Підрахунок інтерфейсів проводили аналогічно, якість інтерфейсу, найближчого до поперечного з'єднання, реєстрували для 500 позицій на поверхні коксу.

Таблиця 2.2

Класифікація текстурних компонентів

Компонент	Вид	Початковий	Зовнішній вигляд
Антрацит: Непористий анізотропний компонент коксів, виготовлених з високоякісного вугілля, який не зливається з мозаїчними компонентами	Рівнинний візерунок	A AP	Одноколірні частинки. Частинки з шаруватою структурою контрастного кольору
Струменевий: Складається з видовжених Широких ізохроматичних областей, часто вигнутих навколо	Посмугованих пор Зернистих	BF SF GF	Розмір >20 мкм > 10 мкм Розмір > 20 мкм > 2 мкм Розмір >3 мкм >1 мкм
Мозаїка: Складається з невеликих округлих ізохроматичних ділянок	Груба Середня Дрібна	CM MM FM	Середній розмір 0,91 мкм Середній розмір 0,63 мкм Середній розмір 0,50 мкм
Ізотропний: Оптично ізотропний компонент коксів з низькоякісного вугілля. Добре сплавляється у мозаїчні компоненти.		Iso	Одноколірний, не змінюється при повороті
Інерти: Вуглецеві інерти – це ізотропні компоненти, які можна ідентифікувати за їхньою деревною структурою або, якщо вони невеликі, за їхніми не сплавленими гострими краями. Мінеральна речовина також входить до цього складу.	Великий Малий	Inl Ins	Розмір >50 мкм Розмір < 50 мкм

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Класифікація межі розділу компонентів коксу

Зовнішній вигляд	Межі розділу
Перехідна (Т)	Безтріщинна межа розділу без чітко визначеної межі. Зовнішній вигляд поступово змінюється від одного компонента до іншого та призводить до появи чіткого проміжного матеріалу на межі розділу
Плавлена (Fu)	Безтріщинна межа розділу з чітко визначеною межею та без проміжного матеріалу між компонентами
Тріщинна (Fi)	Тріщини, малі порівняно з довжиною межі, присутні на межі розділу між компонентами
Нерозплавлена (U)	Тріщинність на межі розділу поширюється майже вздовж усієї межі між компонентами

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

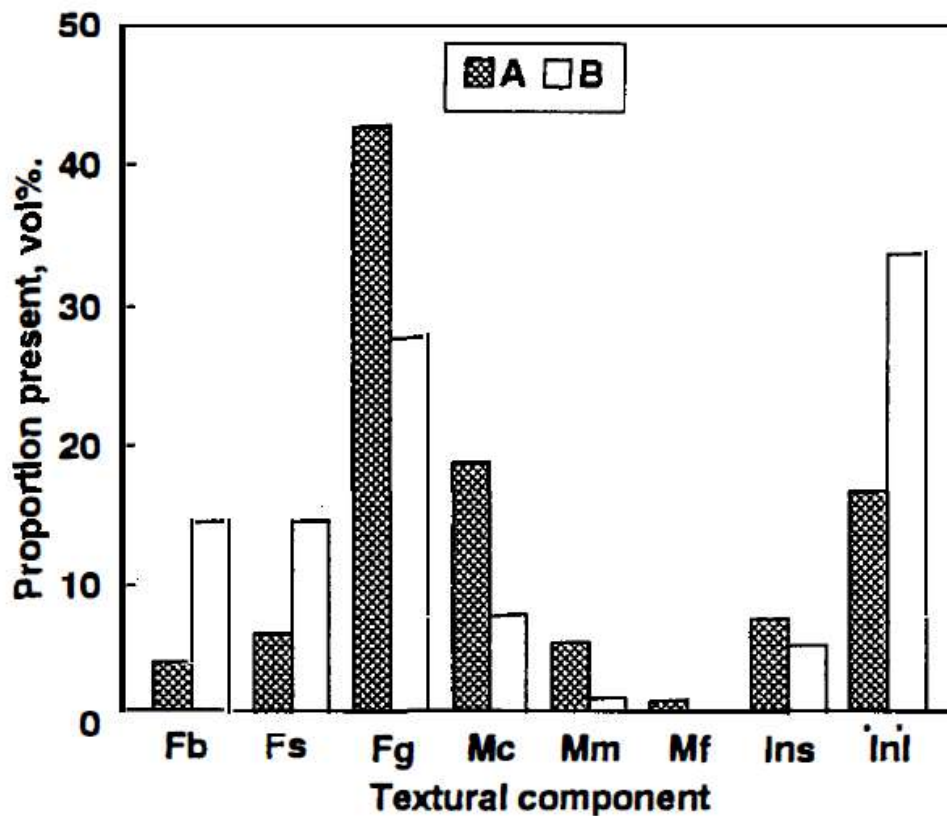


Рис. 2.1 Текстурний склад коксів окремого вугілля

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

На рисунку 2.1 показано, що вугілля В мало дещо вищий ранг, ніж вугілля А, і це відображається на текстурному складі коксів з одного вугілля. Таким чином, кокс В містив більшу частку крупніших компонентів струменевої текстури та відповідно меншу частку зернистої та грубої мозаїки, ніж кокс А (рис. 2.1). Кокс В містить значно більше інертних речовин, ніж кокс А.

На основі даних оцінки інтерфейсу було розраховано загальний індекс якості інтерфейсу як:

$$Q_i = \frac{(T+Fu)}{(Fi+U)} \quad (2.1)$$

де Т, Fu, Fi та U – це відсоткові показники спостережень перехідних, сплавлених, тріщинуватих та несплавлених поверхонь розділу відповідно.

Попередня робота показала, що існує різниця між здатністю компонентів великого потоку та решти реактивних компонентів зв'язуватися з власними інертними речовинами. Відповідно, у цій роботі, під час оцінки якості поверхонь розділу, було зазначено ідентичність реактивного компонента на поверхні розділу, і ця інформація була використана для розрахунку додаткових індексів якості поверхні розділу Q_r та Q_i .

Вони відносяться до якості поверхонь розділу між частинками нафтового коксу та компонентами великого потоку (широкі та смугасті) та іншими реактивними компонентами коксу (зернистий потік та груба мозаїка) відповідно.

На рис. 2.2 порівнюється загальна якість поверхні розділу, що вказується індексом Q_t , для коксів з двох видів вугілля, і показано, що кокс А містив більше якісних поверхонь розділу, ніж кокс з вугілля В.

Для обох серій коксів Q зменшувався зі збільшенням розміру частинок використаного нафтового коксу.

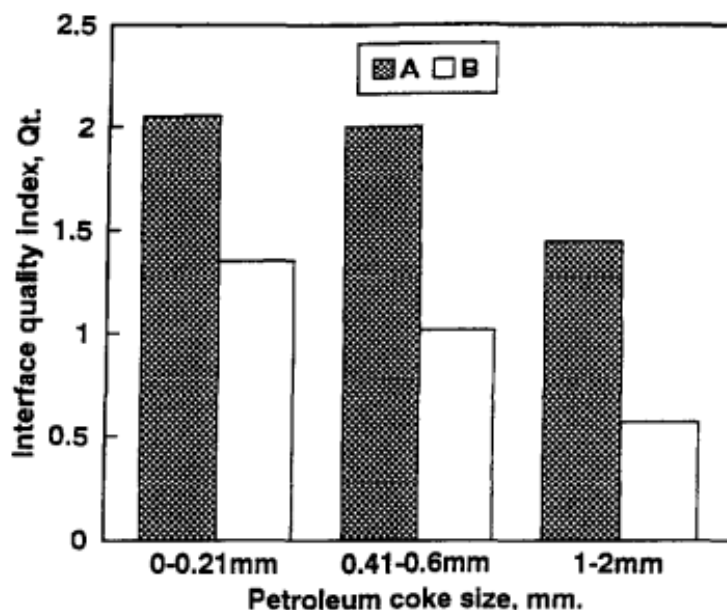


Рис. 2.2. Зміна показника якості інтерфейсу залежно від розміру частинок доданого нафтового коксу.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Для цієї серії коксів зміна індексу крихкості з розміром частинок нафтового коксу, доданого до шихти, проілюстрована на рис. 2.3, причому використаний розмір є серединою діапазону розмірів.

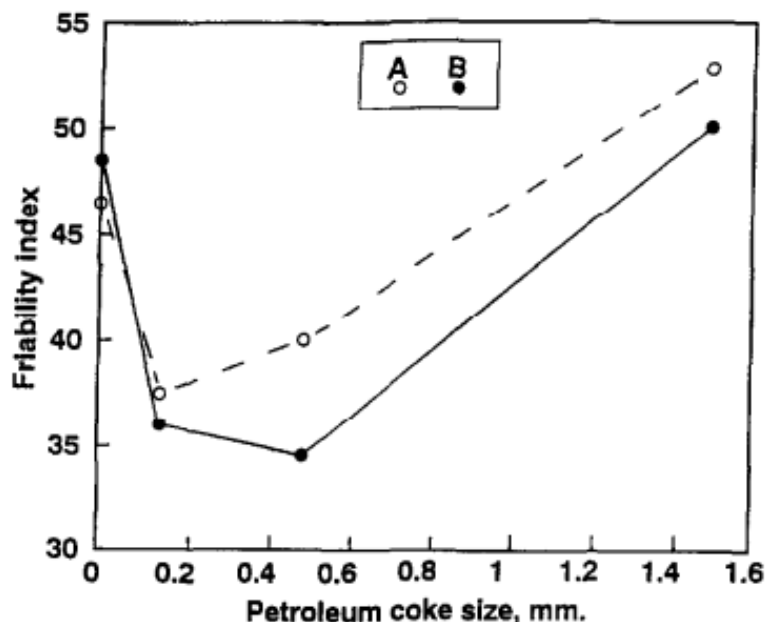


Рис. 2.3. Зміна індексу крихкості коксу з розміром частинок нафтового коксу в карбонізованій суміші

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Дані для коксів, що не містять нафтового коксу, нанесені на графік у положенні нульового розміру. Для обох видів вугілля зі збільшенням розміру індекс крихкості зменшувався до мінімуму, а потім зростав, так що два кокси, що містять частинки розміром 1-2 мм, мали індекси крихкості більші, ніж кокс, що не містить нафтового коксу.

Рис. 2.4 показує тенденцію до зниження індексу крихкості зі збільшенням індексу якості поверхні розділу, хоча дані для двох серій коксів не відповідають одній лінії.

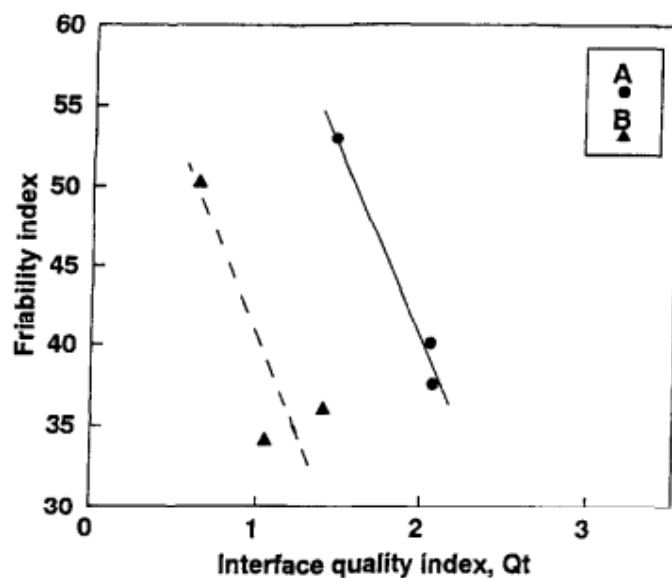


Рис. 2.4. Зміна індексу крихкості коксу залежно від індексу якості поверхні розділу.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Щоб висвітлити поведінку різних типів компонентів коксу, на рис. 5 та 6 показано зміну індексів якості поверхні розділу Q_f та Q_i залежно від розміру частинок нафтового коксу для коксів А та В відповідно. За винятком Q_f для поверхонь розділу в коксі А, ці індекси Q відповідають тенденції, показаній раніше для індексів Q , оскільки вони знижуються зі збільшенням розміру частинок нафтового коксу. Рисунок показує, що для обох вугілля група реакційноздатних текстурних компонентів зернистого потоку/грубої мозаїки бере участь у меншій кількості низькоякісних поверхонь розділу, ніж група

компонентів широкого потоку/смугового потоку. Однак цей ефект зменшується зі збільшенням розміру частинок нафтового коксу.

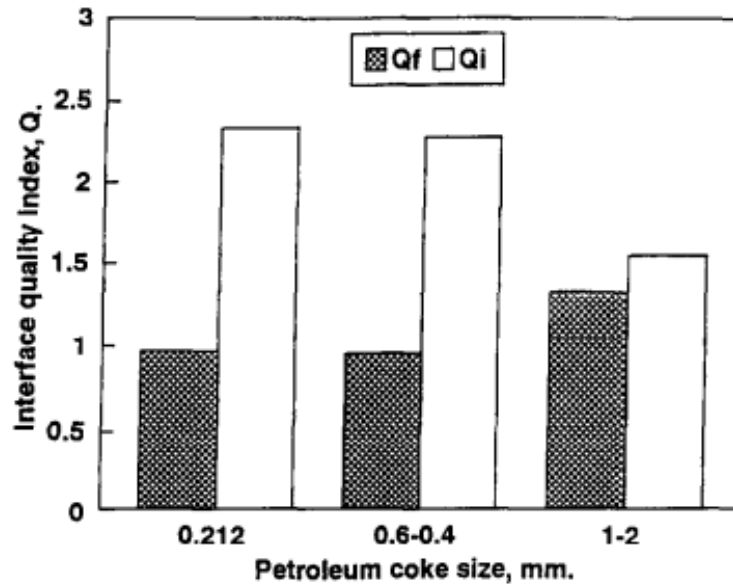


Рис. 2.5. Зміна показників якості межі розділу Q_f та Q_i для коксів, виготовлених з використанням вугілля А з додаванням нафтового коксу розміром частинок (Q та Q_i відносяться до меж розділу, що включають великі компоненти потоку та гранулярний потік/мозаїку відповідно).

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

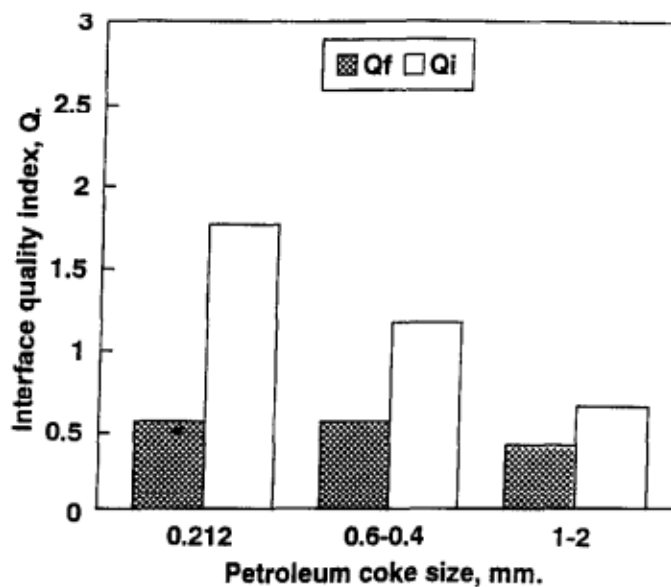


Рис. 2.6. Зміна показників якості інтерфейсу Q_f та Q_i для коксів, виготовлених з використанням вугілля В з додаванням нафтового коксу розміром частинок.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Дані про вплив на якість поверхні розділу фаз та крихкість коксу збільшення кількості нафтового коксу «як отримано» та термічно обробленого нафтового коксу наведено в таблиці 2.4. Вони показують, що термічна обробка призвела до зниження якості поверхні розділу фаз і що це супроводжувалося погіршенням індексу крихкості. Для обох типів нафтового коксу індекс крихкості спочатку зменшувався зі збільшенням додавання нафтового коксу, а потім вирівнювався.

Таблиця 2.4

Якість інтерфейсу та індекс крихкості для коксів, виготовлених з використанням різних пропорцій нафтового коксу «як отримано» та термічно обробленого

Додана кількість мас. %	Вихідний нафтококс		Термооброблений	
	Індекс якості отриманого інтерфейсу	індекс крихкості	Індекс якості інтерфейсу	Індекс крихкості
0	-	47	-	47
5	-	-	1,4	45
10	2,0	37	0,6	40
20	2,3	28	0,5	40
30	2,2	21	-	-
40	2,0	22	-	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

Спостережуваний вплив на крихкість коксу розміру частинок, концентрації та вмісту летких речовин у нафтовому коксі, доданому до карбонізованої вугільної суміші, узгоджуються з попередніми висновками [37-39]. Ефекти, зазначені в цьому дослідженні, можна пояснити з точки зору кількісного індексу якості інтерфейсу, який відображає варіації у відносних пропорціях інтерфейсів «хорошої» та «поганої» якості між реактивними текстурними компонентами коксу та частинками нафтового коксу.

Величина індексів якості інтерфейсу, показує, що як хороші, так і погані інтерфейси завжди присутні в пропорціях, що змінюються залежно від природи добавки нафтового коксу. Це не завжди визнавалося в попередніх мікроскопічних дослідженнях. Крім того, варіація якості інтерфейсів між частинками нафтового коксу та різними групами текстурних компонентів коксу раніше не досліджувалися. Тріщини на межі розділу між реактивами коксу та інертними речовинами, доданими до карбонізованого вугілля, зазвичай пояснюються високою швидкістю усадки матриці відносно інертної частинки поблизу температури повторного затвердіння матриці [S]. У цій ситуації інертна частинка буде оточена матричним матеріалом, який намагається стиснутися в напрямку від частинки. Виникаючі напруження можуть бути компенсовані лише шляхом деформації системи або, якщо перевищено напруження зв'язку на межі розділу, шляхом руйнування межі розділу, що утворює тріщину. Тріщина, утворена з одного боку інертної частинки, дозволить деяке зняття напружень, так що тріщина не обов'язково проходитиме по всій периферії частинки. Для тієї ж концентрації добавки, чим більші частинки, тим більша їхня відстань і, отже, кількість матричного матеріалу між ними. Тому напруги усадки вищі, а ймовірність тріщинуватих меж розділу більша.

Таким чином, утворення тріщинуватих меж розділу між реакційноздатними компонентами коксу та інертними добавками залежить від різниці в швидкостях усадки двох компонентів та міцності межі розділу. Відносні швидкості усадки залежать від природи як інертного, так і реакційноздатного компонента, тоді як міцність межі розділу залежить від того чи це дозволило двом фазам досягти гарного контакту та здатність двох матеріалів утворювати міцно зв'язаний інтерфейс [38].

Виходячи з механізму усадки, оскільки більші компоненти потоку (широкі та смугасті) утворюють більше низькоякісних інтерфейсів з частинками нафтового коксу, ніж менші компоненти потоку та мозаїки, вони або більше стискаються, або забезпечують менше можливостей для виникнення хорошого

міжфазного зв'язку, або міцність їхнього зв'язку з поверхнею нафтового коксу низька.

Поточні дослідження не дозволяють точно визначити причину, але більші компоненти потоку зазвичай пов'язані з вугіллям вищого сорту, яке має меншу текучість, ніж те вугілля, яке дає зернистий потік та великі мозаїки. Тому вони можуть бути менш здатними обтікати та ефективно змочувати частинки нафтового коксу. Загальна здатність вугілля виробляти кокс з якісними інтерфейсами між матрицею та частинками конкретного нафтового коксу буде адитивно залежати від поведінки, у цьому відношенні, окремих текстурних компонентів у коксі. Чим вища здатність вугілля, тим вища його здатність включати певний нафтовий кокс у суміш до того, як це негативно вплине на якість поверхні розділу фаз та механічні властивості. Включення інертної добавки до металургійного коксу також залежить від його ступеня інертності.

Усі нафтові кокси є інертними в тому сенсі, що вони не розм'якшуються при термічній обробці. Однак, уповільнені кокси можна додавати в набагато більших кількостях, ніж кальциновані кокси, перш ніж низькоякісні поверхні розділу фаз негативно вплинуть на механічні властивості коксу.

Щодо механізму усадки, це призводить до того, що уповільнений кокс має або покращену здатність зв'язуватися з матрицею, або швидкість усадки ближчу до швидкості усадки матриці. Вплив інертних частинок як коксуючих добавок на механічні властивості коксу залежить від ступеня мікротріщинуватості, що утворюється в структурі коксу [S]. Розмір коксу, а отже, і індекс механічної міцності M40, контролюються мережею великих тріщин, викликаних усадкою поблизу повторного затвердіння. Дуже інертні добавки, наприклад, коксовий бриз та кальцинований нафтовий кокс, викликаючи мікротріщинуватість, можливо, до розміру однієї тріщини на частинку, дозволяють більш рівномірно зняти напругу усадки, так що збільшується відстань між великими тріщинами.

Отже, розмір коксу збільшується. Однак, широкий розподіл мікротріщин, необхідний для збільшення розміру коксу, негативно впливає на ті механічні властивості, які залежать від структури коксу між великими тріщинами, тобто

індекс стираність M10 та міцність коксу на розтяг. Навпаки, останні властивості та крихкість, покращуються, якщо інертний матеріал, хоча й не розм'якшувальний, здатний зв'язуватися з матрицею достатньо сильно, щоб виникло мінімальне мікротріщинуватість.

2.2 Дослідження якісних характеристик нафтового коксу як компоненту вугільної шихти

Якісні характеристики досліджених нафтових коксів представлені в таблиці 2.5.

Як видно з даних таблиці, три дослідних партії (1-3) мають низьку спікливість і низький вихід летких речовин, що дозволяє використати для заміни піснуватий спікливих компонентів вугільної шихти.

Таблиця 2.5

Якісна характеристика досліджених нафтових коксів

№ партії	Місце виробництва	Якісні характеристики				
		W_t^r , %	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %	y, мм
1	Ново-Бакинського НПЗ	3,1	0,6	0,65	12,1	0
2	Надвірнянського НПЗ	10,2	0,9	2,08	10,6	6
3	Експорт з США	5,3	0,5	0,47	11,9	6
4	Херсонський нафтопереробний завод	7,5	0,7	2,57	39,4	21

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [37-39]

Четверта партія має відмінні характеристики та крім високої спікливості і виходу летких речовин вирізняється високим значенням вмісту сірки. Ці властивості дозволяють використати 4 партію нафтового коксу як альтернативу вугілля марки Ж в дослідних шихтах.

2.3 Дослідження введення в шихту нафтового коксу низької спікливості

Враховуючи якісні характеристики 3 партії, а саме величину виходу летких речовин нафтококсу (11,9%), він може відігравати роль опіснюючого компонента в шихтах для коксування.

Виходячи з цього, були розроблені дві шихти: базова (вар. 1) за участю вугілля марки ПС Rosahontas та дослідна (вар. 2) за участю замість марки ПС нафтококсу у тій самій кількості.

У таблиці 2.6 представлені якісна характеристика та марочний склад двох варіантів шихт – базового та дослідного.

Таблиця 2.6

Якісна характеристика та марочний склад шихт

Компонент	Марка	Якісні характеристики						Варіанти шихт	
		A ^d , %	S ^d _t , %	V ^{daf} , %	y, мм	R _o , %	V _t , %	Базовий варіант 1	Дослідний варіант 2
Ресурс	ГЖП	7,3	0,36	37,4	13	0,68	75	25	25
Wellmore	Ж	8,1	1,03	32,2	24	0,98	81	30	30
Свято - Варваринская	К	8,9	0,78	26,7	15	1,21	88	30	30
Rosahontas	ПС	7,9	0,79	18,2	12	1,55	79	15	-
Нафтококс НК	НК	0,5	0,47	11,9	6	-	-	-	15

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22, 39]

У таблиці 2.7 представлена якісна характеристика шихт.

Таблиця 2.7

Якісна характеристика шихт

Варіанти шихт	Якісні характеристики					
	A ^d , %	S ^d _t , %	V ^{daf} , %	y, мм	R _o , %	V _t , %
1 (базовий)	8,1	0,75	29,4	16	1,05	80
2 (дослідний)	7,0	0,70	28,4	14,5	0,97	69

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22, 39]

З наведених даних таблиці 2.7 видно, що зольність дослідної шихти вар.2 суттєво знизилася (на 1,1%) через низьку зольність нафтококсу, а також знизилася вихід летких речовин (на 1%) і товщина пластичного шару (1,5 мм).

Така зміна технологічних характеристик має призвести до зниження зольності коксу та деякого погіршення механічної міцності коксу. При цьому очікувано має збільшитися вихід валового коксу. Для перевірки очікуваних результатів було проведено лабораторні коксування обох варіантів шихт у 5 кг печі конструкції ДП «УХІН».

Дана піч має постійні умови коксування, а саме: завантаження 5 кг, період коксування 3 години, температура при видачі коксу 950±10 °С, сухе гасіння коксу.

Такі умови коксування дозволяють з високим ступенем достовірності визначати саме вплив властивостей вугілля та шихт на якість коксу.

У таблиці 2.8 представлені якісна характеристика, механічна та гаряча міцність, а також структурна міцність та абразивна твердість коксу з обох варіантів шихт.

Таблиця 2.8

Якісна характеристика коксу

Кокс варіанти	Якісні характеристики, механічна міцність				СП, %	Тв, мг	Вк, %
	A ^d , %	S ^d _t , %	M ₂₅ , %	M ₁₀ , %			
1 (базовий)	10,7	0,71	89,0	7,5	88,7	68,4	75,95
2 (дослідний)	9,2	0,67	89,5	7,4	89,7	68,3	76,37

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22, 39]

Аналіз наведених результатів коксування показує, що якісна характеристика дослідного коксу по більшості параметрів мало чим відрізняється від коксу, отриманого з базової шихти. При цьому, зольність дослідного коксу суттєво нижча (на 1,5%), а механічна та гаряча міцність мають тенденцію до покращення.

Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

- Подана проба нафтового коксу характеризується низькими значеннями зольності та вмісту сірки, а також невисоким виходом летких речовин.

- Нафтовий кокс з невисоким виходом летких речовин у шихтах для коксування може використовуватися як опіснюючий компонент.

- Введення в шихту нафтококсу замість вугілля марки ПС Rosahontas у тій же кількості (15%) призвело до помітного зниження зольності коксу (на 1,5%) та підвищення його виходу, а також деякого поліпшення його механічної та гарячої міцності.

2.4 Дослідження введення в шихту нафтового коксу високої спікливості

Для досліду з додавання у вугільну шихту нафтококової спікливої добавки (НСД) був обраний нафтовий кокс Херсонського нафтопереробного заводу, якість нафтового коксу представлена в таблиці 2.5 (проба № 4). Для проведення дослідно промислового експерименту була придбана партія, яка мала коливання якості. Нафтовий кокс характеризувався низьким значенням зольності 0,6-0,8 %, високими показниками вмісту сірки 2,39-2,74 %, виходу летких речовин 29-61 % і високою спікливістю, яку краще відобразити показником індексу Рога – 52-69.

Для дослідного коксування використовували класичні компоненти вугільної шихти коксохімічного підприємства, якісні характеристики представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Якісна характеристика дослідних вугільних концентратів

Марка	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм	
	W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y
Г	8,7	7,3	2,00	34,4	38	12
Ж	8,3	7,3	1,99	29,2	15	22
К	8,6	8,6	2,04	22,1	16	15
ПС	10,4	7,7	2,04	19,5	16	10

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Роботу виконували у два етапи – базовий і дослідний періоди на напівпромисловій дослідній коксовій батареї 350 кг печі. Марочний склад вугільних шихт базового і дослідного періодів представлені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Марочний склад шихт

Марка	Участь в шихті, %	
	Базовий період	Дослідний період
Г	32	42
Ж	36	16
К	14	14
ПС	18	18
НСД	0	10

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Як видно з таблиці, в дослідному періоді у вугільну шихту було введено 10 % НСД та для компенсації підвищеної спікливості виведено з шихти 10 % вугілля марки Ж, та збільшена кількість газового вугілля на 10 % при відповідному зниженні вмісту жирного вугілля. Вміст вугілля марки К і ПС залишилися незмінними.

Якісні характеристики отриманих вугільних шихт представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Якісна характеристика дослідних вугільних шихт

Шихта	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм	
	W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y
Базова	9,3	7,5	2,00	31,6	32,0	15
Дослідна	8,9	6,8	2,00	33,7	28,0	16

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Аналізуючи таблицю, видно, що в дослідному періоді є суттєве зниження зольності вугільної шихти та підвищення виходу летких речовин, що спричинене підвищенням вмісту газового вугілля і введенню у вугільну шихту нафтококсолової спікливої добавки. Вміст летких речовин зріс на 2,1%, товщина пластичного шару - на 1 мм. Сірчистість обох шихт була приблизно однаковою.

Гранулометричний склад дослідних шихт та їх насипна маса представлені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Гранулометричний склад дослідних вугільних шихт

Шихта	Гранулометричний склад (%) по класам мм			Насипна маса, кг/м ³
	> 6	6-3	< 3	γ
Базова	12,3	13,9	73,8	699
Дослідна	12,1	13,1	74,8	691

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

З таблиці видно, що гранулометричний склад досить близький, а насипна маса відрізняється не значно.

У базовий період при приготуванні шихти дроблення і подрібнення проводили за прийнятою на заводі схемою ДШ. У дослідчий період проводили попереднє дроблення окремо нафтококсової спікливої добавки та газового вугілля і остаточне дроблення шихти. Оскільки НСД є крихким шматковим матеріалом, його дроблення в молотковій дробарці не викликало жодних труднощів (вміст класу <3 мм досягав 80%). Таким чином, ступінь подрібнення шихти зросла на 1%.

При змішуванні з вугільною частиною шихти добавка добре розподілялася в ній; отже, практично не порушувалися ні прийнята на заводі технологія підготовки шихти, ні процес її завантаження в печі. Коксування виконали на всіх чотирьох коксових батареях заводу. Обороти печей в обох періодах був однаковим (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Умови коксування в період досліджень

Показники	Період досліджень	
	базовий	дослідчий
Оборот печей, г	16	16
Температура в контрольних опалювальних вертикалах, °С		
м.с.	1336	1333
к.с	1294	1291
Температура по осі коксового пирога, °С	1114	1101
Усадка, мм	250	402
Висота підклепінного простору, мм	263	273
Температура підклепінного простору, °С	780	854

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

У процесі досліджень заповнення секцій вугільної башти підтримували на рівні $2/3$ її обсягу. При завантаженні печей дослідною шихтою висоту підсклепінного простору витримували в межах 250-350 мм.

Для контролю теплотехнічного режиму періодично вимірювали температуру по осьовій площині коксівного пирога по трьом люкам на чотирьох рівнях: 0,6; 2,1; 3,2; 3,5 м від підлоги печі. Температуру в контрольних отоплювальних каналах та в осьовій площині коксівного пирога підтримували на рівні заданих відповідно до періоду коксування. Повнота завантаження під час проведення досліджень відповідала ПТЕ для коксових батарей. Протягом усього періоду коксування визначали динаміку усадки коксового пирога (див. Рис. 2.7).

Як видно з графіка, різке збільшення усадки для коксу з шихти, що містить НСД, відбувається в перші 3-3,5 години після завантаження. Ймовірно, нафтова спікаюча добавка, розм'якшуючись при температурі ($T_p = 133 \div 166^\circ\text{C}$), ніж вугільні компоненти, обмаслює їх і сприяє само ущільненню компонентів шихти, роблячи їх більш рухомими.

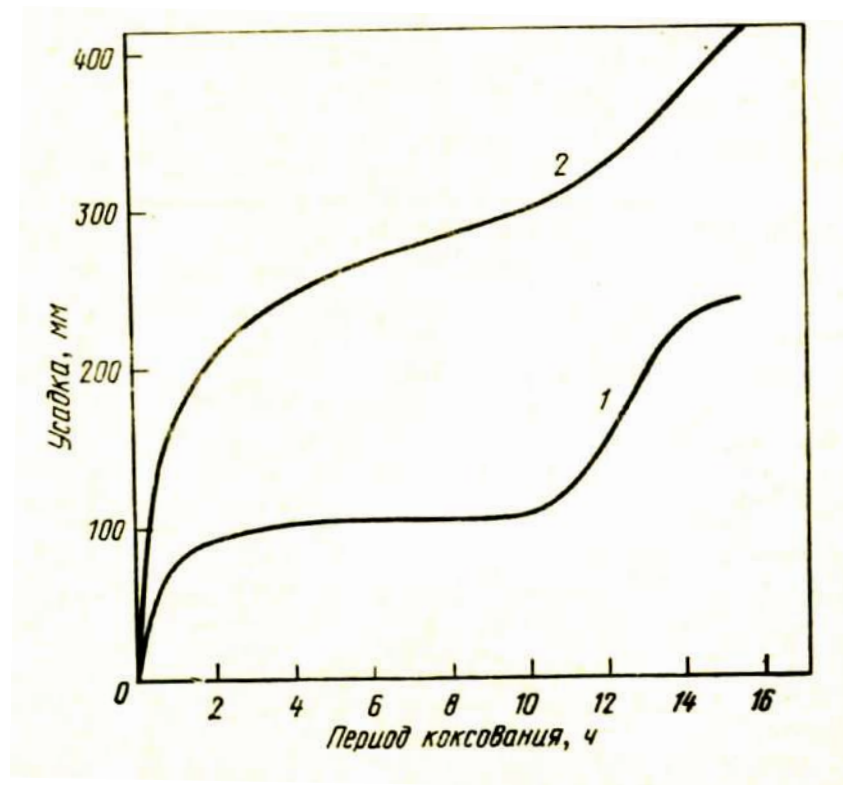


Рис. 2.7 Динаміка вертикальної усадки коксового пирога: 1- при коксуванні коксового пирога в базовому періоді; 2 – при коксуванні коксового пирога в дослідному періоді.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38-39]

В цілому усадка коксового пирога дослідного періоду перевищила усадку коксового пирога базового періоду на 152 мм, що пояснюється як впливом добавки так і підвищенням вмісту в шихті долі газового вугілля. Збільшення усадки призвело до помітного підвищення температури підсклепінного простору (табл. 2.9), що в свою чергу призвело до змін якості хімічних продуктів коксування.

В процесі дослідних коксувань на 6-7 добу спостерігалось підвищення ампіражу під час видачі коксу. Аналіз подібних явищ дозволяє припустити вплив неоднорідності властивостей НСД (вихід летких речовин, що характеризує термічну стійкість добавки, коливався в значних межах), а також можливість нерівномірного її розподілу в печній камері. Також відзначалося збільшення пухких сажистих відкладень у горловинах завантажувальних люків і у стояках, вони легко видаляються під час чищення.

Характеристика коксу наведена в таблицях 2.14 – 2.17.

Таблиця 2.14

Технологічні властивості коксу

Кокс періоду	Технічний аналіз, %			Показники механічної міцності	
	W_t^r	A^d	S_t^d	M_{25}	M_{10}
базовий	4,8	10,0	1,76	89,0	5,9
дослідний	4,5	9,2	1,78	89,1	6,1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Таблиця 2.15

Гранулометричний склад металургійного коксу

Кокс періоду	Гранулометричний склад металургійного коксу по класам мм, %				
	> 80	80-60	60-40	40-25	< 25
базовий	5,0	26,0	51,4	14,7	2,9
дослідний	5,6	26,6	49,0	15,9	2,9

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Таблиця 2.16

Вихід коксу

Кокс періоду	Вихід коксу, %	Вихід коксу по продуктах, %		
	V_k	доменний	горішок	дріб'язок
базовий	78,4	92,2	2,9	4,9
дослідний	76,9	92,7	2,9	4,4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Як видно, за якістю коксу дослідного періоду характеризувався зниженою зольністю і підвищеним вмістом класу >80 мм. Механічна міцність коксу обох періодів підтримувалася на однаковому рівні і досягала еталонних значень, що було необхідною умовою для оцінки впливу введення добавки на подальший доменний процес.

Вихід валового коксу в дослідний період знизився на 1,5%, металургійного - підвищився на 0,5% (при зменшенні кількості дрібниці на 0,5%). Аналіз характеру зміни показників тонкої структури речовини експериментального коксу (табл. 2.17), а саме: підвищені значення дійсної щільності та твердості, знижені - питомого електроопору дає підстави для висновку, що при коксуванні вугільних сумішей з НСД структурно-хімічні перетворення речовин органічної маси протікають більш глибоко, ніж при коксуванні сумішей без добавок.

Таблиця 2.17

Якісні характеристики коксу

Кокс періоду	Щільність, кг/м ³		Пористість, %	Реакційна здатність, см ³ /г·с	Питомий електроопір, 10 ⁻⁶ Ом·м	Твердість
	дійсна	уявна				Тв, мГ
базовий	1897	1000	53	0,30	1133	115
дослідний	1905	1004	47	0,25	958	173

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [39]

Незважаючи на підвищений вміст долі газового вугілля в суміші дослідного періоду, реакційна здатність коксу знижувалася. Це дозволяє зробити висновок про відповідний вплив нафтової спікаючої добавки. Отриманий кокс випробували на Дніпропетровському металургійному заводі. Відзначалася стабільна робота і певне підвищення продуктивності доменної печі.

За результатами промислового коксування вугільної суміші з участю нафтової добавки НСД виконали розрахунок економічної ефективності від її застосування. При цьому враховували зміну техніко-економічних показників виробництва коксів. До них віднесемо: вартість сировини з урахуванням транспортних витрат; витрата шихти на коксування; витрати по «переробці»: якість коксу; вихід продуктів коксування. Якість НСД ($A^d = 0,8\%$; $S_t^d = 2,61\%$; $V^{daf.} = 40,9\%$) визначило її ефективність.

Високий вихід летких речовин у добавці при збільшенні долі газового вугілля у дослідній шихті можна вважати причиною зниження виходу коксу. Звідси - збільшення витрат по «переробці», також зниження собівартості коксу завдяки більшому виходу супутньої продукції. Низька зольність добавки відповідно вплинула на зольність коксу (вона помітно зменшилася). Механічні характеристики коксу за M_{25} і M_{10} практично не змінилися. На 0,5% збільшився вихід доменного коксу.

В цілому при значному позитивному ефекті (зменшення зольності коксу, збільшення асортименту продукції), а також при зниженні собівартості (у зв'язку з підвищеним виходом супутньої продукції) використання добавок на НСД у шихті для коксування призводить до втрат приблизно 1 \$/т валового коксу. На основі виконаних розрахунків визначили граничний рівень вартості добавки (до 50 \$. за 1 т). За умови рівноприбутковості і складного рівня рентабельності в підгалузі ефективним можна вважати застосування нафтових добавок з оптовою ціною не більше 44 \$ за 1 т.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, направлених на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Реальні виробничі умови характеризуються наявністю шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Тому завдання охорони праці є звести до мінімуму ймовірність травматизму або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

В умовах сучасного коксохімічного виробництва охорона праці й пожежна безпека регламентовані правовими й нормативними документами, такими як: «Правила безпеки в коксохімічному виробництві», «Загальні правила безпеки для підприємств і організацій металургійної промисловості», «Правила пожежної безпеки в Україні», стандартами підприємства, розробленими службою охорони праці підприємства, інструкціями з техніки безпеки для робочих цехів та іншими.

У даній дипломній роботі проводиться аналіз схем подрібнення вугільних концентратів у вуглепідготовчому цеху коксохімічних підприємств. Розглянуто основні шкідливі і небезпечні виробничі чинники вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», запропоновані заходи щодо зниження їх впливу, виконаний розрахунок циклону, розглянуті питання пожежної безпеки.

3.1 Основні шкідливі і небезпечні чинники вуглепідготовчого цеху

Що стосується безпосередньо вуглепідготовчого цеху, то основними причинами які погіршують умови праці, є вугільний пил, шум і вібрація. Характеристика шкідливих і небезпечних факторів вуглепідготовчого цеху приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Шкідливі чинники вуглепідготовчого цеху

№ п/п	Найменування речовини	Одиниці виміру	ГДК, ГДУ	Фактичне значення
1	Запиленість (вугільний пил)	мг/м ³	4,0	100-1000
2	Шум	дБ (А)	80	89

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [40]

Вугільний пил у великій кількості виділяється при розвантаженні вугілля вагонопрокидувачем, з дробарок і дезінтегратора, в місцях перевантаження вугілля з конвеєра на конвеєр, при порушенні ущільнень в кожухах і жолобах. Він розноситься по приміщенню, осідає і накопичується на конструкціях, стінах і стелях.

Дуже дрібні частинки вугільного пилу, знаходячись в повітрі в зваженому стані, можуть потрапляти в легені людини. Вугільний пил не отруйний, але викликає роздратування верхніх дихальних шляхів і тканини легенів, що може привести при тривалій дії до професійного захворювання – антракозу. Пил також негативно впливає на очі і шкіру.

Вугільний пил є вибухонебезпечним. При його вмісті 1 г/м³ може відбутися вибух. Причиною вибуху можуть служити неполадки в системі вентиляції, скупчення великої кількості пилу на стінках, карнизах, конструкціях, неполадки з електропроводкою, виконання робіт, пов'язаних з відкритим вогнем, без дотримання правил безпеки [40].

Значне виділення пилу відбувається при розвантаженні вугілля з вагонів вагоноперекидачем. Запиленість повітря на робочому місці укладача вагонів знаходиться в межах 250-1000 мг/м³. Для зниження пилоутворення у відповідних місцях проводиться обшивка ізоляції ротора вагоноперекидача і в приводному приміщенні, передбачається установка захисних козирків і ізоляції біля обслуговуючих майданчиків. Запилене повітря в місці розвантаження вугілля

відсисається вентилятором і пропускається через циклон для очищення від пилу, а потім виводиться в атмосферу.

Шум шкідливо відображаються на здоров'ї працюючих і їх працездатності. Вони стомлюють нервову систему людини, що зрештою знижує продуктивність праці і стимулює виникнення професійних захворювань. При тривалій дії шуму не тільки знижується гострота слуху, але змінюється кров'яний тиск, погіршується зір, відбуваються зміни в рухових центрах. Порушується нормальна функція шлунку. Всі ці симптоми приводять до профзахворювань, які носять назву «шумова хвороба». Шум в вуглепідготовчому цеху викликаються роботою дробарок, дезинтеграторів, редукторів, вентиляційних установок. Надмірний шум також впливає на організм людини викликаючи головний біль і ослаблення уваги, встановлено що шум знижує світлову чутливість ока на 20 %.

Незадовільне освітлення служить причиною травматизму, негативно впливає на зір тих, що працюють і знижує продуктивність їх праці.

Одними з основних небезпечних чинників є рухомі машини і механізми; незахищені рухомі елементи виробничого устаткування; електроустаткування.

Все технологічне устаткування вуглепідготовчого цеху приводиться в дію за допомогою електричного струму, тому необхідно електробезпеку поставити на такому рівні, щоб виключити електротравматизм. Це досягається шляхом дотримання організаційних і технічних заходів, працездатності технічних засобів безпеки, справного стану захисного заземлення або занулення технологічного і електричного устаткування того, що знаходиться в цеху. Дія електроструму на людину може викликати опіки, порушення у складі крові і навіть смерть [40].

3.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливостей і небезпек у вуглепідготовчому цеху

Запиленість повітря значно зменшується при збільшенні вологості вугілля. Так наприклад, концентрація пилу в місці падіння вугілля з конвеєра на конвеєр

при низькій вологості вугілля складає 100-105 мг/м³, при вологості вугілля 7,0; 9,0; 12,0% вона складає відповідно 70-73; 30-35; 3-8 мг/м³. Для зниження запиленості повітря в приміщеннях необхідно зволожувати поверхню підлоги і устаткування. Прибирання пилу в приміщеннях слід проводити гідрозмивом. Для цього передбачається забарвлення стін фарбами, що не змиваються, а підлога повинна мати ухил для стоку води. Заходи щодо промислової санітарії повинні забезпечувати сприятливі для здоров'я умови праці і повну безпеку роботи. Для усунення запиленості приміщень вуглепідготовчого цеху передбачається забезпечення герметичності устаткування і жолобів в місцях перевантаження вугілля з конвеєра. Особлива увага повинна бути обернена на усунення пилоутворення у дробарках. Якщо звичайні ущільнення для усунення викидів в приміщенні недостатні, слід застосовувати припливно-витяжну вентиляцію.

В окремих випадках при недостатній вологості вугілля для зменшення пилоутворення у місць перевантаження застосовується водяне розпилювання за допомогою спеціальних форсунок.

У вуглепідготовчому цеху застосовується блокуючі пристрої на стрічкових конвеєрах, що відключають привід при поперечному обриві стрічки або каната натягача.

Засоби захисту призначені для запобігання або зменшення дії на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Самі засоби захисту не повинні бути джерелом небезпечних і шкідливих чинників. Вибір засобів захисту у кожному окремому випадку здійснюється з урахуванням вимоги безпеки для даного процесу або виду робіт.

Засоби індивідуального захисту для працівників дозувального відділення, і терміни їх використання та розраховані згідно нормативних документів «Типові галузеві норми безкоштовної видачі робітникам та службовцям спеціального одягу, спеціального взуття й інших засобів індивідуального захисту».

Запобіжні пристосування для захисту від падіння при виконанні робіт на висоті або колодязях – запобіжні пояси, ремені або ланцюг призначені для

захоплення за конструкції, що сполучаються з поясом одним кінцем через карабін, а іншим через півкільце; карабін має замок з пружиною і додаткову клямку для оберігання від саморозкриття.

Застосування засобів індивідуального захисту працюючих – це лише додатковий профілактичний захід, необхідне в тих випадках, коли іншими способами неможливо попередити небезпеку травм і захворювань. Тому індивідуальні засоби мають допоміжний характер і не підміняють технічних рішень [40].

ВИСНОВКИ

Інтерфейси в металургійному коксі між вуглецевими компонентами, отриманими з вугілля компонентами, що розм'якшуються при карбонізації, та добавками нафтового коксу, що не розм'якшують можна ідентифікувати та класифікувати залежно від ступеня контакту на інтерфейс. Отримані дані можна використовувати для отримання кількісного індексу якості інтерфейсу, який відображає різницю у відносних пропорціях «хороших» та «поганих» інтерфейсів якості. Варіації індексу якості інтерфейсу залежно від рівня доданого до шихти нафтового коксу пояснюють, чому крихкість коксу спочатку покращується, але потім, після перевищення оптимального рівня добавки, погіршується.

При використанні нафтового коксу як опіснюючого компоненту вугільної шихти важливим є вибір нафтового коксу високої якості особливо за низьким вмістом сірки, золи та виходом летких речовин.

Проведені дослідження довели, що такий нафтовий кокс може використовуватися в кількості до 15 % як повноцінний опіснюючий компонент вугільної шихти, позитивно впливаючи на зольність, вміст сірки та механічні і термомеханічні характеристики коксу.

Використання нафтового коксу з високою спікливістю і високим виходом летких речовин призводить до зниження виходу основного продукту – коксу, тож його застосування повинно бути обґрунтоване виведенням з вугільної шихти високолетких компонентів, зазвичай марок Г і Ж. Використання нафтового коксу з високою спікливістю може бути обмежене виходом летких речовин вугільної шихти та участю не більше 10 %, так як температура розм'якшення нафтового коксу значно нижча за температуру утворення пластичної маси вугілля, при цьому спікливість нафтового коксу не може компенсувати спікливість вугілля в цілому. Збільшення усадки коксового пирога при використанні нафтового коксу призводить до утворення додаткової напруги в коксовому пирозі та може стати причиною надмірного утворення тріщин.

Все ж, оптимальне використання нафтового коксу в шихтах для коксування позитивно впливає на показники його якості знижуючи зольність, вміст сірки та покращуючи механічні властивості. Така заміна доцільна лише з аналізом техніко-економічних основ підприємства, та за сприятливої цінової політики нафтового коксу.

В кваліфікаційній роботі розглянуті основні небезпечні і шкідливі фактори підготовки вугілля до коксування на стадії подрібнення вугільної шихти та проаналізовані шляхи зниження впливу цих факторів на персонал.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Karcz, A.; Strugała, A. Increasing chances of utilizing the domestic coking coal resources through technological operations in coal blend preparation. *Gospod. Surowcami Miner. Miner. Resour. Manag.* 2008, 24, 5–18.
2. Nomura, S. Coal briquette carbonization in a slot-type coke oven. *Fuel* 2016, 185, 649–655.
3. Flores, B.D.; Flores, I.V.; Guerrero, A.; Orellana, D.R.; Pohlmann, J.G.; Diez, M.A.; Borrego, A.G.; Osório, E.; Vilela, A.C.F. Effect of charcoal blending with a vitrinite rich coking coal on coke reactivity. *Fuel Process. Technol.* 2017, 155, 97–105.
4. Zarczyn'ski, P.; Strugała, A. Studies on the Possibility of Extending Coal Resources for Coke Production through the Application of Coal Predrying. *Energy Fuels* 2018, 32, 5666–5676.
5. Ahmed, H. New Trends in the Application of Carbon-Bearing Materials in Blast Furnace Iron-Making. *Minerals* 2018, 8, 561.
6. Smedowski, Ł.; Krzesin'ska, M. Molecular oriented domains (MOD) and their effect on technological parameters within the structure of cokes produced from binary and ternary coal blends. *Int. J. Coal Geol.* 2013, 111, 90–97.
7. Castro Díaz, M.; Zhao, H.; Kokonya, S.; Dufour, A.; Snape, C.E. The effect of biomass on fluidity development in coking blends using high-temperature SAOS rheometry. *Energy Fuels* 2012, 26, 1767–1775.
8. Kokonya, S.; Castro Díaz, M.; Barriocanal, C.; Snape, C.E. An investigation into the effect of fast heating on fluidity development and coke quality for blends of coal and biomass. *Biomass Bioenergy* 2013, 56, 295–306.
9. Diez, M.A.; Alvarez, R.; Fernández, M. Biomass derived products as modifiers of the rheological properties of coking coals. *Fuel* 2012, 96, 306–313.
10. Krzesin'ska, M.; Szeluga, U.; Smełdowski, Ł.; Majewska, J.; Pusz, S.; Czajkowska, S.; Kwiecin'ska, B. TGA and DMA studies of blends from very good

coking Zofiówka coal and various carbon additives: Weakly coking coals, industrial coke and carbonized plants. *Int. J. Coal Geol.* 2010, 81, 293–300.

11. Diez, M.A.; Alvarez, R.; Climadevilla, J.L.G. Briquetting of carbon-containing wastes from steelmaking for metallurgical coke production. *Fuel* 2013, 114, 216–223.

12. Melendi, S.; Diez, M.A.; Alvarez, R.; Barriocanal, C. Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production. *Fuel* 2011, 90, 1431–1438.

13. MacPhee, J.A.; Gransden, J.F.; Giroux, L.; Price, J.T. Possible CO₂ mitigation via addition of charcoal to coking coal blends. *Fuel Process. Technol.* 2009, 90, 16–20.

14. Alvarez, R.; Barriocanal, C.; Díez, M.A.; Cimadevilla, J.L.G.; Casal, M.D.; Canga, C.S. Recycling of hazardous waste materials in the coking process. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 1611–1615.

15. Fernández, A.M.; Barriocanal, C.; Díez, M.A.; Alvarez, R. Influence of additives of different origins on thermoplastic properties of coal. *Fuel* 2009, 88, 2365–2372.

16. Diez, M.A.; Alvarez, R.; Melendi, S.; Barriocanal, C. Feedstock recycling of plastic wastes/oil mixtures in cokemaking. *Fuel* 2009, 88, 1937–1944.

17. Díaz, M.C.; Edecki, L.; Steel, K.M.; Patrick, J.W.; Snape, C.E. Determination of the effects caused by different polymers on coal fluidity during carbonisation using high-temperature ¹H NMR and rheometry. *Energy Fuels* 2008, 22, 471–479.

18. Collin, G.; Bujnowska, B.; Polaczek, J. Co-coking of coal with pitches and waste plastics. *Fuel Process. Technol.* 1997, 47, 179–184.

19. Montiano, M.G.; Diaz-Faes, E.; Barriocanal, C. Partial briquetting vs direct addition of biomass in coking blends. *Fuel* 2014, 137, 313–320.

20. Montiano, M.G.; Diaz-Faes, E.; Barriocanal, C. Effect of briquette composition and size on the quality of the resulting coke. *Fuel* 2016, 185, 649–655.

21. Nomura, S. Recent developments in cokemaking technologies in Japan. *Fuel Process. Technol.* 2017, 159, 1–8.
22. Філатов Ю.В., Є.Т. Ковальов, І.В. Шульга, С.І. Кауфман, А.І. Коломійченко Теорія і практика виробництва і використання доменного коксу покращеної якості / Під ред. С.Л. Ярошевського. – Київ: Наукова думка, 2011. 128 с.
23. Старовойт А. Г. Итоги работы коксохимических предприятий и производств Украины в 2018 г. / А. Г. Старовойт, С. Н. Фещенко. – Днепр.: УНПА «Укркокс», 2019. – 73 с.
24. Основи технічного аналізу вугілля: навч. посіб./О.Ю. Свєткіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова, С.М. Лисицька; М-во освіти і науки України, Нац.гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 111 с.
25. Пинчук, С.И. Системный анализ природы качества доменного кокса//Кокс и химия. 2001. № 8. С. 12-18.
26. Основи технології коксування вугілля: посібник [Електронний ресурс] / І.В. Шульга, Д.В. Мірошніченко, О.В. Богоявленська – Харків-Тернопіль: НТУ «ХП», Видавництво «Крок», 2022. – 128 с.
27. Sobolewski, A.; Rejda, M.; Czaplicki, A.; Janusz, M.; Mianowski, A. The effect of coal charge preparation on coke quality. *Przemysł Chem.* 2014, 93, 2103–2110.
28. Rejda, M.; Wasielewski, R. Mechanical compaction of coking coals for carbonization in stamp-charging coke ovens. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2015, 51, 151–161.
29. Borowski, G.; Hycnar, J. Utilization of Fine Coal Waste as a Fuel Briquettes. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2013, 33, 204.
30. Rejda, M.; Robak, J.; Czardybon, A.; Ignasiak, K.; Fudała, P. Research on the Production of Composite Fuel on the Basis of Fine-Grained Coal Fractions and Biomass—The Impact of Process Parameters and the Type of Binder on the Quality of Briquettes Produced. *Minerals* 2020, 10, 31.

31. Li, Y.; Han, Y.; Sun, Y.; Gao, P.; Li, Y.; Gong, G. Growth Behavior and Size Characterization of Metallic Iron Particles in Coal-Based Reduction of Oolitic Hematite–Coal Composite Briquettes. *Minerals* 2018, 8, 177.

32. Pang, L.; Yang, Y.; Wu, L.; Wang, F.; Meng, H. Effect of Particle Sizes on the Physical and Mechanical Properties of Briquettes. *Energies* 2019, 12, 3618.

33. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2007. — Т. 2 : Л — Р. — 670 с. — ISBN 57740-0828-2.

34. В. І. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. Основи хімії і фізики горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — с. 600. ISBN 978-966-317-024-4

35. Глосарій термінів з хімії / укладачі: Й. Опейда, О. Швайка ; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. — Донецьк : Вебер, 2008. — 738 с. — ISBN 978-966-335-206-0.

36. DUBLIN, 16 Червня, 2021. / PRNewswire / - “Розмір ринку коксового коксу, частка ринку, аналіз заявок, регіональний прогноз, тенденції зростання, ключові гравці, конкурентні стратегії та прогнози, 2021–2029” звіт додано до ResearchAndMarkets.com пропозиція. Needle Coke Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2021 to 2029

37. S.K. Seet, Prabhakar Sethi Blending Consideration in Coke Making Towards Optimum Coke Quality. *Coke and Chemistry*. 2020. 12. p. 2-13.

38. Carmen Barriocanal, Svenja Hanson, John W. Patrick, Alan Walker The quality of interfaces in metallurgical cokes containing petroleum coke. *Fuel. Processing Technology* 45.1995. p. 1-10

39. Васильев Ю.С., Дроздник И.Д., Юрина Л.В., Близнюк Т.И., Долгарев Г.В., Карасюк Л.Р. Применение нефтяных спекающих добавок в шихтах для коксования. *Кокс и химия* 1989. № 12. с. 4-6.

40. Шеремет В.А., Каракаш А.І., Марунчак В.Ф. Довідковий посібник керівника і фахівця горно – металургійного підприємства по охороні праці: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НП «Ліра ЛТД», 2006 – 816 с.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Музика Наталя

Автор

Науковий керівник / Експерт

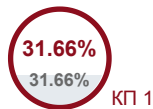
Музика НаталяШмельцер К.О.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

9226

Кількість слів

71003

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		12
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		87

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://jinsuncarbon.com/uk/%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BD%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%81%D1%83/	870 9.43 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Музика Наталя Юріївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Вивчення можливості використання нафтового
коксу в шихтах для коксування

Керівник кваліфікаційної роботи: доцент, к.т.н. Десна Н.А.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зарах	2.06.25	Десна	
2	Основна частина	Десна Н.А.	зарах	2.06.25	Десна	
3						
4						

Завідувач кафедри



(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 2 » червня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Музики Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для
коксування

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>67;</u>
таблиць	<u>21;</u>
схем і рисунків	<u>12;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вивчення можливості розширення сировинної бази коксування при застосуванні нафтового коксу в шихтах для коксування.

В кваліфікаційній роботі на основі огляду літературних джерел були розглянуті вимоги до якості коксу і шляхи формування доменного коксу високої якості. Проведений аналіз принципів формування вугільних шихт для отримання коксу високої якості та сировинну базу коксохімічних підприємств. Розглянуті якісні характеристики нафтового коксу та шляхи його використання. Наведені данні досліджень використання нафтового коксу в шихтах для коксування як заміна високометаморфізованого вугілля, яка має значну вартість. Показані результати лабораторних і дослідно-промислових коксувань вугільних шихт з різною кількістю нафтового коксу. Проаналізовані зміни показників коксування вугільних шихт звичайного класичного складу та вугільних шихт з підвищеним вмістом вугілля газової групи та з додавання нафтового коксу, що має високу спікливість в якості часткової заміни вугілля марки Ж.

Представлені результати аналізу усадки вугільних шихт за участю нафтового коксу та технологічні параметри роботи коксових батарей в експериментальний період.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

В роботі не проведений огляд засобів подачі нафтового коксу у вугільну шихту не наведені характеристики виробників нафтового коксу та його ринкова доступність

В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий переклад.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи магістра, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувачка Музика Н.Ю. під час написання кваліфікаційної бакалаврської роботи показала добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та економічно обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженні нафтового коксу в сировинну базу підприємства можуть бути впровадженні на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра

Керівник Десна Наталя Анатоліївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

« 2 » червня 2025 р.

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Музики Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для коксування
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Вибір та обґрунтування технології внесення нафтового коксу у вугільну шихту для коксування з метою часткової заміни дефіцитних марок вугілля та отримання високоякісного коксу.
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Проаналізовані вимоги до якості коксу та способи формування вугільних шихт для отримання високоякісного коксу. Досліджене питання якості нафтового коксу та сфер його застосування. Наведені дослідження внесення нафтового коксу у вугільну шихту з заміною дефіцитного вугілля марки ПС та дослідження з часткової заміни нафтовим коксом вугілля марки Ж.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Недостатньо проаналізовано досвід сучасних коксохімічних підприємств, на яких застосовують нафтовий кокс як компонент вугільної шихти. Також для літературного огляду необхідно використовувати більш сучасні джерела.
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент <u>Корнер Маріна Віталіївна</u>

(прізвище, ім'я та по-батькові)

К.Х.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Корнер

(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
- навчальної/наукової праці;
- наукових матеріалів

Вивчення можливості використання нафтового коксу в шихтах для коксування
(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Музика Наталя Юріївна
(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 67 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 31,66 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
- термінологією;
- посиланнями на літературу, праці вчених;
- посиланнями на законодавство;
- загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «13» червня 2025 р. протокол № 16.

Керівник підрозділу


(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Музика Наталя Юріївна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

13.062025

Музика Н.Ю.

**Декларація
про дотримання академічної доброчесності
під час написання курсової/кваліфікаційної роботи
здобувачем вищої освіти
Державного університету економіки і технологій**

Я, Музика Наталя Юріївна, здобувач III курсу, групи ЗХТ-22ск Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

02.06.2025



Н. Музика