

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

Карпенка Данила Сергійовича

на тему Дослідження та розробка технології отримання
коксу з низьким показником реакційної здатності за
рахунок впливу на основність золи вугільної шихти

науковий керівник к.х.н., доцент *Кормер* Кормер М.В.

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.2025 № 1/6

Завідувач кафедри

Шмельцер
к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр і назва)

Завідувач кафедри

Хімічних технологій та інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

доцент, к.т.н.

Шмельцер К.О.

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

2025 року

« 2 » червня

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Карпенка Данила Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра _____

Кормер Марина Віталіївна, к.х.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу № 239-ст від «04» квітня 2025 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра _____

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

4.1 Аналітична частина: Роль коксу в доменній плавці. Вплив реакційної здатності коксу на роботу доменної печі. Аналіз основних факторів, що впливають на реакційну здатність коксу. Вплив умов підготовки вугільної шихти та її коксування на показники CRI і CSR. Структура коксу та її вплив на його реакційну здатність.

4.2 Основна частина: Дослідження зміни показників CSR та CRI коксу на КХВ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Розробка технології отримання коксу з низьким показником CRI.

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	Кормер М.В., доцент	<i>Кормер</i>	<i>Кормер</i> 21.04.25
2 Основна частина	Кормер М.В., доцент	<i>Кормер</i>	<i>Кормер</i> 21.04.25

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	18.06.2025	

Здобувач

Карпенко
(підпис)

Карпенко О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кормер
(підпис)

Кормер М.В.
(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Карпенко Д. С. Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти – Рукопис.

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

Об'єкт розробки - технологія отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи.

Мета роботи - отримання коксу з низьким показником реакційної здатності, зменшення питомої витрати коксу і збільшення продуктивності доменної печі.

Метод дослідження - теоретичне та експериментальне дослідження обробки коксу водним розчином борату.

Запропоновано технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності.

Результати роботи можуть стати основою для впровадження технології виробництва коксу, яка дозволить зменшити його витрату в доменній плавці, збільшити його міцність в умовах доменної печі, збільшити продуктивність доменної печі, знизити показник CRI, знизити собівартість 1 т чавуну.

Ключові слова: реакційна здатність коксу, доменна плавка, вугілля, гаряча міцність, основність золи, домішки

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Роль коксу в доменній плавці	9
1.2 Вплив реакційної здатності коксу на роботу доменної печі	15
1.3 Аналіз основних факторів, що впливають на реакційну здатність коксу	18
1.3.1 Вплив марочного складу вугільної шихти на реакційну здатність доменного коксу	19
1.3.2 Вплив петрографічного складу вугільних шихт і ступеню метаморфізму вугілля на якість коксу за показником CRI	22
1.3.3 Вплив мінеральних компонентів вугілля на якість коксу та показник CRI коксу	27
1.3.4 Вплив умов підготовки вугільної шихти та її коксування на показники CRI і CSR	30
1.3.5 Структура коксу та її вплив на його реакційну здатність	33
1.4 Висновки та постановка задач дослідження	35
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	39
2.1 Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти	39
2.1.1 Дослідження зміни показників CSR та CRI коксу на КХВ "Арселор-Міттал Кривий Ріг".	39
2.2 Залежність реакційної здатності коксу від величини зольності і складу золи	43
2.3 Розробка технології отримання коксу з низьким показником CRI	52
2.4 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища	56
2.4.1 Небезпечні фактори в умовах вуглепідготовчого цеху	56
2.4.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у вуглепідго-	

товчого цеху	
2.4.3 Заходи з пожежної безпеки	60
2.4.4 Охорона навколишнього середовища	61
2.5 Висновки по основній частині роботи	63
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	70
	73

ВСТУП

Посилення вимог доменників щодо зниження реакційної здатності коксу супроводжується погіршенням якості коксового горішка як вуглецевого відновника в електротермічних процесах.

Для оцінки якості доменного коксу разом з показниками «холодної» міцності (M_{25}) і стираності (M_{10}) використовують показники «гарячої» міцності (CSR) і реакційної здатності (CRI). Саме високотемпературні властивості визначають поведінку коксу в доменній печі і прямо впливають на його витрату. У технічній літературі опубліковані складені згідно значенням CRI і CSR рейтинги коксу більше 20 країн Європи, Азії і Америки, відносно яких кокс заводів України набагато відстає від світового рівня якості. На цій підставі металурги України підвищують вимоги щодо якості коксу, перш за все, за показниками CRI і CSR. У сучасних умовах, коли для виробництва коксу в Україні використовують вугілля ближнього і далекого зарубіжжя, дослідження з метою з'ясування шляхів і способів оптимізації реакційної здатності коксу має велике народно-господарське значення. Його актуальність визначається економічною важливістю проблеми підвищення якості коксу для України.

В зв'язку з цим в даній роботі ставиться за мету дослідити чинники, які впливають на показник реакційної здатності коксу та розробити технологію, яка дозволить отримати якісний кокс за показником CRI, а також буде економічно доцільною в умовах сировинної бази КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Роль коксу в доменній плавці та структура показників якості доменного коксу

В якості палива в доменній плавці застосовують кокс, мазут, природний і коксівний газ і кам'яновугільний пил.

Основним видом палива є кокс.

Кокс це пориста речовина, яка залишається після видалення з кам'яного вугілля летючих речовин при нагріванні його до 950-1200 °С без доступу повітря. Це єдиний матеріал, який зберігає форму куска в доменній печі на усьому шляху руху від колошника до горна, завдяки чого забезпечується проходження газового потоку через шар рідких, напіврідких і твердих матеріалів в доменній печі.

Кокс виконує декілька функцій в доменній печі, а саме, теплову (забезпечує енергією, яка необхідна для ендотермічних хімічних реакцій і для плавлення заліза і шлаку), хімічну (кокс утворює газу для взаємодії з оксидами заліза) і механічну (утворює проникну сітку, яка забезпечує пересування рідин і газів в печі).

У зв'язку з тим, що кокс є основним джерелом тепла, відновником і розпушувачем в доменному виробництві, до нього пред'являються високі вимоги. Відповідно до цих вимог, властивості коксу можуть бути розділені на чотири категорії:

хімічні (хімічний склад), фізичні, фізико-хімічні і фізико-механічні властивості [1].

Структура показників якості доменного коксу наведена на рис.1.1.

Хімічний склад коксу визначається технічним аналізом (вологість, зольність, сірчистість, вихід летючих речовин), а також елементним аналізом (вміст вуглецю, водню, кисню, азоту та ін.). Волога в коксі знижує теплоту його згорання, оскільки при цьому зменшується вміст горючих компонентів,

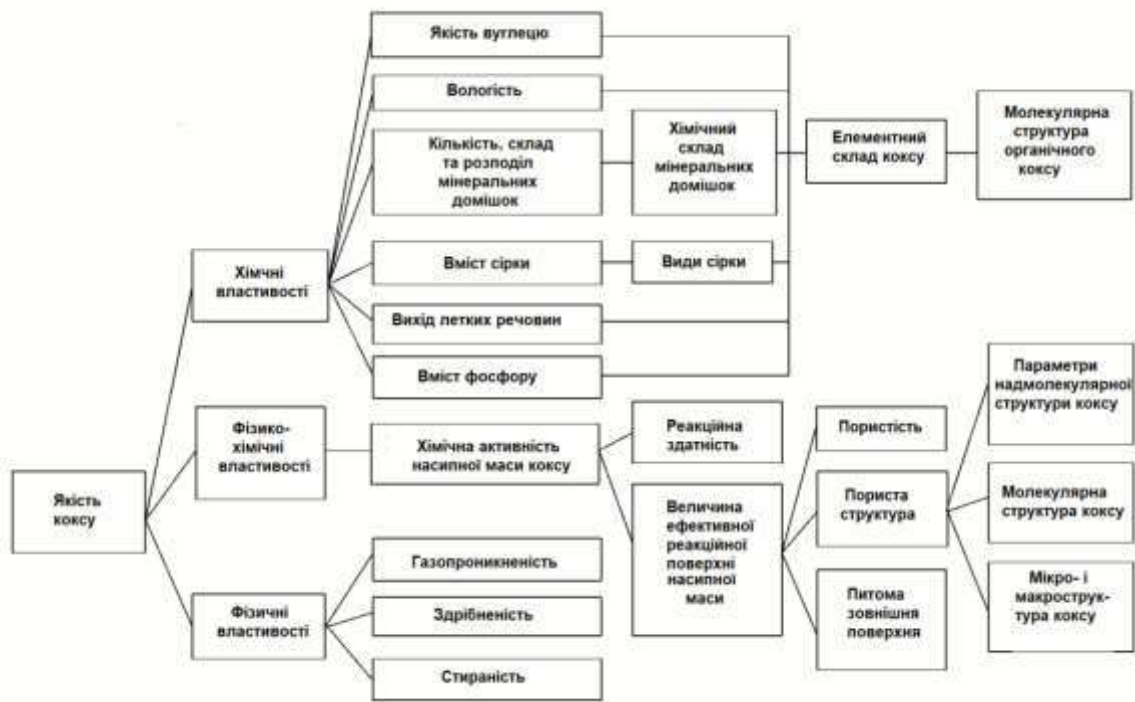


Рис.1.1. Структура показників якості доменного коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [1]

а також збільшується витрата теплоти на її випар; зазвичай вологість товарного крупного коксу розміром >25 мм складає 2-3 % з коливаннями в окремих партіях не більше ± 1 %. Вологість коксу підвищується зі зменшенням розміру шматків, що пов'язано з розвиненішою питомою поверхнею дрібних класів. Зола в коксі є баластом, оскільки, по-перше, вона зменшує вміст вуглецю і, по-друге, в доменному процесі вона повинна виводитися в шлак, на що витрачається певна кількість флюсів і тепла. Зольність крупного металургійного коксу залежно від умов його виробництва і сировинної бази повинна складати $<8,5$ %.

Сірчистість має дуже велике значення для характеристики коксу як металургійної сировини. Сірка в доменному коксі є шкідливою домішкою, оскільки частковий перехід її в метал значно погіршує його властивості (червоноламкість), а видалення сірки в доменному процесі вимагає значного збільшення витрати флюсів і тепла. Підвищена сірчистість коксу зазвичай призводить до різкого збільшення питомої витрати коксу на виплавку чавуну.

У коксі, отриманому з вугілля східних і північних родовищ, вміст сірки складає 0,45-0,75 %, з донецького вугілля 1,6-2,0 %.

Вихід летючих речовин коксу визначає міру завершеності процесу коксування або міру готовності коксу. У крупному коксі вихід летючих речовин повинен складати від 0,6 до 1,0 %.

Елементний склад промислового коксу, віднесений до горючої маси, коливається приблизно в наступних межах, %: 96-98 вуглецю, 0,5-2,0 азоту, 0,5-1,0 водню і 0,2-1,5 кисню. Вміст вуглецю в коксі збільшується з підвищенням кінцевої температури коксування, оскільки летючі речовини коксу утворюються за рахунок виділення водню і кисню з частиною вуглецю.

До фізичних властивостей коксу відносяться такі властивості, які не залежать від крупності, форми і текстури його кусків. Це - істинна і уявна щільність, пористість, електропровідність (чи електроопір), структурна міцність, а також теплові властивості коксу (теплоємність, теплота згорання, температура займання, теплопровідність, температуропровідність). Істинна щільність (маса одного кубічного сантиметра тонкоподрібненого коксу) визначається по ГОСТ 10220-62 в пікнометрі.

Щільність коксу завжди вища за щільність вугілля. При істинній щільності сухої маси коксованого вугілля 1,3-1,4 г/см³ (зольність 7-8 %) істинна щільність коксу складає приблизно 1,87 г/см³. Істинна щільність коксу збільшується з підвищенням кінцевої температури коксування. Уявна щільність є масою одиниці об'єму кускового коксу. Для звичайного виробничого коксу уявна щільність лежить в межах 0,8-0,9 г/см³. Загальна пористість доменного коксу, отриманого за звичайних умов коксування, коливається в межах 45-55 %. Її розраховують на підставі даних про істинну і уявну щільність по формулі:

$$\Pi = d_i - d_y / D \cdot 10 \quad (1.1)$$

де d_i і d_y - істинна і уявна щільності.

Питомий електроопір або питому електропровідність часто використовують в практичній роботі для оцінки якості коксу і характеристики температурного режиму коксування. Питомий електроопір коксу зменшується при зростанні і впорядкуванні вуглецевих сіток коксової речовини з підвищенням температури процесу коксування. По класах крупності найбільший електроопір показують класи <10 мм і 10-25 мм, а найменший - клас 25-40 мм, що пояснюється специфікою умов їх утворення.

Структурна міцність коксу обумовлена твердістю і товщиною стінок пор. Вона визначається випробуванням кусків коксу розміром 3-6 мм, отриманих при дробленні. Структурна міцність коксу залежить від природи коксованого вугілля і режиму коксування (вона вище при високих кінцевих температурах процесу). Величина структурної міцності доменного коксу повинна знаходитися в межах 65-72 %. Теплоємність коксу (на суху масу) залежить від вмісту в ньому вуглецю, виходу летючих речовин і зольності. Обчислюють її зазвичай як середню зважену по значеннях теплоємності вуглецю коксу (приймається по теплоємності графіту), летючих речовин (по теплоємності водню) і золи (по теплоємності кварцу). Теплоємність коксу залежить від його молекулярної структури і зростає для коксу, отриманого при більш високих кінцевих температурах коксування. Збільшення зольності дещо знижує загальну теплоємність коксу. Середня теплоємність коксу коливається від 1,4 до 1,5 кДж/(кг·°C) або 0,33-0,36 ккал/(кг·°C).

Теплота згорання коксу завжди нижче теплоти згорання початкового вугілля, із-за більшої зольності коксу. Найнижча теплота згорання складає 28050-31400 кДж/кг (6700-7500 ккал/кг). Коефіцієнт теплопровідності монолітного куска коксу при нормальній температурі складає 0,46-0,93 Вт/(м·°C), а при температурі 1000 °C 1,7-2,0 Вт/(м·°C). При підвищенні кінцевої температури коксування теплопровідність коксу збільшується.

До фізико-хімічних властивостей коксу відносять його горючість, реакційну здатність, «гарячу» міцність. Горючістю називається хімічна

активність коксу, яка визначається пропусканням повітря або кисню через розжарений кокс. Вона характеризується швидкістю згорання коксу.

Реакційна здатність коксу - це здатність коксу реагувати в певних температурних умовах з газоподібними продуктами відновлення і розкладання (з CO_2 і H_2O). За сучасних умов плавки (наявність комбінованого дуття) кількість газифікованого коксу в результаті дії CO_2 і H_2O зростає в порівнянні з кількістю коксу за звичайних умов плавки. Отже, в нових умовах змінюються і вимоги до реакційної здатності коксу. У шахті доменної печі, коли при певних температурах починає розвиватися пряме відновлення оксидів заліза, чим менша реакційна здатність коксу, тим нижче його витрата на пряме відновлення і тим більша його кількість спалюється.

При загальній тенденції відносно вимог до доменного коксу по зниженню реакційної здатності кокс все ж повинен мати таку оптимальну реакційну здатність при високих температурах, при якій діоксид вуглецю і пари води в горні повністю регенеруються. Це спостерігається при $\text{CRI} = 25 \div 30 \%$. «Гаряча» міцність - це міцність коксу після реакції його з діоксидом вуглецю при 1100°C . Показник «гарячої» міцності CSR коксу характеризує його поведінку в доменній печі при високих температурах в процесі виплавки чавуну. З підвищенням значень показника CSR зменшується руйнування коксу в печі, покращується проникність для газів і рідин в зоні плавлення доменної печі, підвищується продуктивність, знижуються викиди шкідливих речовин.

Показники CRI і CSR знаходяться в тісному взаємозв'язку, математичною моделлю якого є регресійне рівняння узагальненого виду (для малосірчистих коксів з $S_k^d < 1,0 \%$):

$$\text{CSR} = 94,23 - 1,275\text{CRI} \quad (1.2)$$

Отже, зі зменшенням реакційної здатності коксу зростає його термомеханічна міцність і навпаки. Під фізико-механічними властивостями коксу мають на увазі крупність кусків, рівномірність гранулометричного

складу і міцність по відношенню до дроблячих та стираючих зусиль, тобто властивості, пов'язані з крупністю і формою кусків коксу.

Крупність, форма і рівномірність кусків за величиною визначають газопроникність насипної маси коксу.

Крім цього, від цих показників залежить величина поверхні в одиниці маси, а, отже, і інтенсивність реакцій вуглецю коксу, які проходять на поверхні кусків, з киснем і вуглекислим газом.

Ситовий, або гранулометричний склад визначається розсіванням проби коксу на декількох ситах з певними розмірами отворів.

Максимальний розмір кусків товарного коксу може дорівнювати половині ширини камери коксування, а мінімальний залежить від умов підготовки коксу до використання. Ситовий склад коксу по класах може коливатися в наступних межах:

Таблиця 1.1

Ситовий склад коксу по класах

Клас, мм	Склад, %
>80	4,1-7,5
60-80	20,4-36,1
40-60	47,1-56,2
25-40	7,3-16,0
<25	1,9-3,3

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [1]

Ситовий склад коксу залежить як від технологічних факторів його виробництва, так і від властивостей початкової сировини [2].

Основні показники, які визначають якість коксу, та вимоги до цих показників представлені в таблиці 1.2. Таким чином, завантажуваний в доменну піч кокс не повинен містити ні дрібних кусків, погіршуючих газопроникність шихти, ні надмірно крупних кусків, які, як правило, уражені тріщинами і легко руйнуються в печі з утворенням дрібних фракцій. Кокс має бути пористим для забезпечення хорошої горючості в горні печі і мати

високу теплоту згорання для отримання необхідної кількості тепла і необхідної температури.

Таблиця 1.2

Технічні вимоги до якості коксу

Стабільність, %	57-62
Твердість, %	66-72
Показник міцності M_{25} , %	88,0-90,0
Показник старанності M_{10} , %	6,0-6,5
CSR, %	60,0-75,0
CRI, %	25-30
Середній розмір кусків, %:	
>25 мм	94-96
< 12,5 мм	<2-0
Вміст, %: зола	<8,5
летючі речовини	<1,0
сірка	<0,75
луги	<0,22
волога	<5,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2]

Кокс повинен містити по можливості менше золи, сірки, фосфору і помірну кількість летючих речовин. У коксі завжди міститься волога, що поступає в кокс при його гасінні на коксохімічному заводі або з атмосфери. У зв'язку з тим, що кокс в доменній печі завантажують по масі, вміст вологи в коксі повинен витримуватися постійним для збереження заданого теплового режиму печі. Величина реакційної здатності коксу повинна знаходитися в межах 25-30 %.

1.2 Вплив реакційної здатності коксу на роботу доменної печі

В процесі доменної плавки якість коксу повинна забезпечувати необхідну газопроникність стовпа шихтових матеріалів. Зростаючі вимоги доменної плавки до якості коксу призводять до необхідності поліпшення його властивостей: рівномірності і стабільності усіх показників. На міцність коксу впливають висока температура, тиск, дія лугів, яка призводить до його

руйнування. В цьому відношенні з міцністю коксу тісно пов'язана реакційна здатність. Оскільки в умовах плавки спалювання коксу у фурменій зоні здійснюється завдяки наявності не лише елементарного кисню, але і діоксиду вуглецю і води, реакційна здатність горючого матеріалу набуває важливого значення. Вона не повинна обумовлювати істотний розвиток в шахті доменної печі процесу регенерації вуглекислого газу і пари води, оскільки це призводить до збільшення витрати коксу і зменшення коефіцієнта використання теплової енергії вуглецю в горні. Висока реакційна здатність послабляє структуру коксу, в результаті утворюється велика кількість дріб'язку в нижній частині печі, що особливо небажано. Тому, на думку багатьох дослідників, кокс зі зниженою реакційною здатністю слід вважати прийнятнішим для доменного процесу. Авторами були виконані роботи, пов'язані з виявленням впливу реакційної здатності коксу на його питому витрату в доменній печі. Виявилось, що при збільшенні цього показника в два рази питома витрата коксу за інших рівних умов зростає на 30-70 кг/т чавуну. Це пояснюється послабленням стінок пор коксу, зниженням його механічної міцності і опору стиранню [3]. На ПАТ «АМКР», в результаті дослідження зв'язку реакційної здатності коксу з показниками роботи доменних печей, прийшли до висновків, що зміна показника CRI на 1 % вимагає зміни витрати коксу на 1 кг/т чавуну; підвищення цього показника на 1 % супроводжується також зниженням використання оксиду вуглецю на 0,5 % [4]. Вплив реакційної здатності коксу на показники доменної плавки оцінювали на Карагандинському металургійному комбінаті. На основі статистичної обробки даних про роботу доменних печей на коксі різної реакційної здатності (визначеною по ГОСТ 10089-89) був зроблений висновок, що збільшення цього показника на 10 % призводить до зниження продуктивності доменних печей на 3,6 % і до збільшення питомої витрати коксу на 2 кг/т [5]. Отже, використання в доменній печі більш реакційного коксу призводить до збільшення його питомої витрати. Це видно з рисунку 1.2.

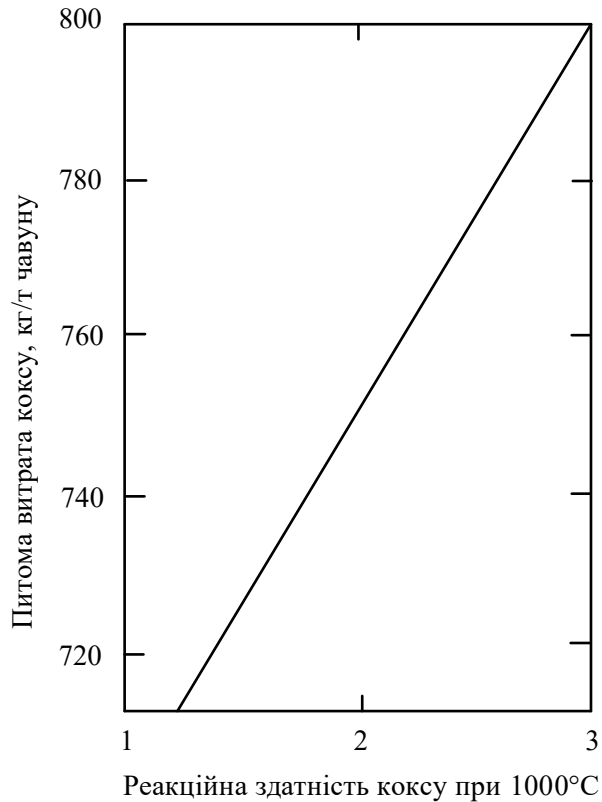


Рис.1.2. Залежність питомої витрати коксу від його реакційної здатності

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

На Алчевському металургійному комбінаті були проведені дослідні доменні плавки з використанням коксу з трамбованої шихти різного марочного складу. Реакційна здатність змінювалася від 0,42 см³/(г-с) у коксу з насипної шихти до 0,28-0,33 см³/(г-с) у коксу з трамбованої шихти, а виміряна по методу УХІНа - відповідно від 27,7 до 18,34 % [6].

Таким чином, зменшення реакційної здатності коксу завдяки застосуванню трамбування шихти забезпечило зниження питомої витрати коксу в доменному процесі від 806 до 778-788 кг/т чавуну.

Нині загальною практикою для країн ЄС видається використання в доменній шихті дрібнішого коксу (10-35 мм) в кількості до 100 кг/т чавуну. Більш реакційноздатний коксовий горішок змішують із залізородною шихтою і завантажують в периферійну частину доменної печі. При цьому

відмічають, що чим вища "гаряча міцність" коксу по CSR, тим більшу кількість коксового горішка можна використати замість великого коксу без погіршення газопроникності в печі [7]. Під час роботи доменної печі Швельгерн-2 був накопичений великий матеріал по зміні міцності коксу за показників CSR з 54,2 до 68 %. При збільшенні споживання пилоподібного вугілля з 132 до 188 кг/т гарячого металу відмічені зниження сумарної витрати коксу і вугілля з 510 до 470-486 кг. Оскільки витрата вугілля при цьому збільшувалася, можна говорити про послідовне зниження питомої витрати коксу внаслідок підвищення його термомеханічної міцності і пониження реакційної здатності [8]. Досліджені негативні явища, пов'язані з використанням коксу низької міцності і високої реакційної здатності.

Встановлено, що в процесі завантаження у доменну піч і сходу шихти через низьку якість коксу збільшується кількість дрібних кусків, що призводить до збільшення винесення колошникового пилу та погіршення газопроникності в середній частині печі. У зоні розм'якшення-плавлення зростання частки дрібного коксу в деяких проміжних шарах викликає місцеве відхилення газового потоку в бік інших шарів і, як результат, - нерівномірний розподіл газу за перерізом і погіршення газопроникності стовпа шихтових матеріалів. Крім того, утворення дріб'язку затримує розплавлення металу і шлаку в зоні сходу, зменшує газопроникність в зоні дуття, в результаті чого відбувається руйнування фурм.

Таким чином, знижена реакційна здатність коксу є сприятливою для доменного процесу.

На показник CRI можна впливати збільшенням щільності, брикетуванням або трамбуванням вугільної шихти, стабільністю її складу і збільшенням температури коксування. Зменшення пористості коксу сприяє зниженню його реакційної здатності як в результаті безпосередньої зміни реакційної поверхні, так і завдяки зменшенню його руйнування по мірі опускання в доменну піч через підвищення міцності. Відмічено різке збільшення реакційної здатності в шахті і заплечиках печей у присутності

лугів. У зв'язку з цим рекомендують обмежити їх вміст або видаляти їх зі шлаками, підтримуючи по можливості низьку основність [5]. Згідно із вищесказаним, можна зробити висновок, що реакційна здатність коксу суттєво впливає на техніко-економічні показники доменного процесу, а саме на питому витрату коксу та продуктивність доменної печі. Експериментально було доведено, що збільшення показника реакційної здатності на 10 % призводить до зниження продуктивності доменних печей на 3,6 % і до збільшення питомої витрати коксу на 2 кг/т. Також було встановлено, що реакційна здатність коксу значно впливає на профіль розподілу температур і газових потоків, і як наслідок, на міру використання газу. Крім цього, CRI коксу здійснює вплив на міцність коксової насадки в горновій зоні печі, оскільки газифікація коксу супроводжується послабленням його структури.

1.3 Аналіз основних факторів, що впливають на реакційну здатність коксу

Поліпшення якості коксу за показником CRI, здійснюють за допомогою вдосконалення підготовки вугільної шихти для коксування і варіювання технологічних чинників виробництва: підбором диференційованого складу шихти з урахуванням марочного і петрографічного складу вугілля, попередньою підготовкою вугілля, обробкою шихти різними органічними і неорганічними домішками та ін. Проаналізуємо основні чинники, які найбільш впливають на показник реакційної здатності коксу.

1.3.1 Вплив марочного складу вугільної шихти на реакційну здатність доменного коксу

Фізико-хімічні властивості коксу, однією з основних характеристик якого є його реакційна здатність за відношенням до CO_2 , залежать від багатьох факторів, насамперед від властивостей вихідного вугілля. Так,

малометаморфізовані вугілля Г6, Г17 при індивідуальному коксуванні дають кокс з досить високими значеннями реакційної здатності, середньої стадії метаморфізму - 1Ж26, 2Ж26, КЖ і К10, навпаки, з мінімальними значеннями. Найменший показник реакційної здатності CRI мають кокси, отримані з жирного і коксовожирного вугілля [9].

Підвищеною реакційною здатністю характеризуються кокси з вугілля більш високої стадії метаморфізму - К2, ПС, СС, причому величина CRI для них трохи нижче, ніж для коксу з вугілля типу Г6 і Г17. Ці висновки підтверджують дані досліджень Магнітогорського гірничо-металургійного інституту, отримані для коксу з вугілля різних стадій метаморфізму з використанням імпульсного методу [9]. Різниця в показниках реакційної здатності коксу з досліджуваного вугілля пояснюється неоднаковим вмістом рідкої пластичної маси при нагріванні вугілля, а також різною її в'язкістю. Так, жирні вугілля в порівнянні з коксовими і газовими мають більше рідкої і в'язкої пластичної маси, що й обумовлює зниження реакційної здатності коксу внаслідок найбільш повної впорядкованості молекулярної його структури, яка наближається до структури графіту [10]. Дослідженнями найбільших фірм - виробників коксу доведена залежність ефективності роботи доменних печей від значення показників CSR (післяреакційна міцність) і CRI (реакційна здатність). Нині у світі пред'являють досить високі вимоги до якості коксу по цих показниках (за європейськими вимогами CSR > 60 %, CRI < 30 %). Звідси - необхідність в проведенні досліджень, пов'язаних з оптимізацією початкової шихти для коксування і технологічних режимів коксування з метою отримання коксу з найкращими реакційними властивостями. Роботи, виконані зарубіжними і російськими дослідниками [11, 12], підтвердили корисність параметрів CSR і CRI для оцінки ефективності роботи доменних печей. Виходячи з цього, була зроблена спроба використати показники "гарячої" міцності і реакційної здатності коксу і для оптимізації марочного складу вугільної шихти з подальшою перевіркою технологічної цінності коксу для роботи доменних печей. Аналіз

результатів досліджень показує, що показники міцності доменного коксу істотно залежать від властивостей вугільної шихти і її компонентного складу. При мінімальній долі участі спікливого і коксоутворюючого вугілля (2Д, Д, ПС, Ж, ГЖ 53,6 % - етап 1) і вугілля жирних марок (9,6 % - етап 8) кокс має гірші властивості практично за усіма показниками (табл.1.3).

Таблиця 1.3

Пайова участь вугілля в шихті та його спікливість

Етап	Участь вугілля в шихті, яка поступає на збагачення (шахта, розріз), %						Спікливість вугілля, мм					
	Томська, ПС	Тому-синська 5-6, КП	Σ К, КП, ПС	Міжріченський, КС	Аларда, КС	Σ КСН	Томська, ПС	Тому-синська 5-6, КП	Міжріченський, КС	Аларда, КС	Ж+ГЖ (конц.)	Шихта на коксування
1	12,3	-	17,7	1,3	13,7	17,9	10,7	-	7,7	7,8	25,5	14,8
2	17,9	-	37,6	26,6	9,4	-	11,9	-	9,0	7,9	28,2	15,2
3	17,0	-	33,3	28,5	16,5	-	12,0	-	7,6	8,2	28,3	15,1
4	11,9	-	28,9	23,9	14,2	11,0	11,8	-	8,4	8,7	26,5	15,2
5	14,7	-	17,9	25,4	16,2	14,8	10,2	-	7,9	7,4	26,1	14,9
6	8,9	1,7	11,5	21,3	14,1	15,7	9,5	10,3	7,9	8,2	27,4	15,0
7	7,1	12,6	25,6	16,3	4,2	14,5	9,3	10,4	7,5	6,8	25,8	15,1
8	6,9	11,8	26,5	16,5	3,4	12,2	9,4	9,8	7,3	6,8	24,6	15,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Вугільна шихта цих етапів характеризується істотною відмінністю петрографічних параметрів. Зменшення долі жирного вугілля (9,6 %) і збільшення низькометаморфізованого (43,5 %) сприяло зниженню показника відбивної здатності вітриніту R_o вугільної шихти до 1,008-1,046 % при оптимальних значеннях 1,100-1,150 %. Це стало однією з головних причин виробництва маломіцного коксу з підвищеною реакційною здатністю ($CRI = 35,0+36,2$ %) і низькою післяреакційною міцністю ($CSR = 54,5+56,0$ %). Кращі показники міцності коксу за показником стираності ($M_{10} = 7,3+7,6$ %), міцності після реакції з діоксидом вуглецю ($CSR = 67,6+68,7$ %) і реакційної здатності ($CRI = 27,3+27,5$ %) отримані на 3-му етапі дослідження (табл.1.4).

В даному випадку мав місце не лише оптимальний вміст долі вугілля спікливих і коксоутворюючих марок (66,1 %), але і якісне поліпшення їх властивостей.

Таблиця 1.4

Характеристика якості шихти та отриманого коксу

Етап	Шихта на коксування					Якість доменного коксу (кокових батарей № 3-7)								
	пайовий склад, %					якість								
	ПС,К	ГЖ,Ж	ΣЖ,ГЖ, ПС	Ж	ГЖ,КНС	V, %	у, мм	R ₀ , %	A ^d , %	M ₄₀ , %	M ₁₀ , %	CRI, %	CSR, %	П ₁ , год.
1	10,0	39,0	53,6	16,2	25,2	25,6	14,8	1,051	10,7/ 10,6	72,4/ 71,4	8,1/ 7,6	35,8/ 34,8	56,0/ 57,6	18,58/ 16,18
2	27,4	38,7	66,1	19,3	19,4	25,2	15,2	1,138	10,9/ 10,9	70,3/ 72,4	8,0/ 7,5	29,2/ 29,3	65,0/ 65,7	18,50/ 16,0
3	25,3	39,1	66,1	17,3	21,8	25,1	15,1	1,142	10,9/ 10,9	72,8/ 72,6	7,6/ 7,3	27,5/ 27,3	68,7/ 67,6	18,50/ 16,72
4	20,0	40,2	64,5	16,5	30,7	25,2	15,2	1,128	11,3/ 11,3	72,7/ 72,7	7,8/ 7,4	29,9/ 29,0	63,0/ 64,5	18,58/ 16,87
5	12,5	39,2	51,8	17,9	31,3	25,2	14,9	1,121	11,2/ 11,1	73,2/ 72,6	8,1/ 7,7	34,2/ 34,0	56,9/ 57,0	18,6/ 17,37
6	8,1	44,4	52,5	17,9	37,5	25,2	15,0	1,112	11,1/ 11,1	73,1/ 72,3	8,1/ 7,8	34,1/ 33,7	56,7/ 56,9	18,64/ 16,66
7	19,5	43,8	63,3	13,0	41,1	25,7	15,1	1,046	11,2/ 11,1	72,2/ 72,0	8,3/ 7,8	36,0/ 35,0	54,9/ 56,0	18,59/ 16,94
8	17,0	44,8	61,8	9,6	43,5	25,7	15,2	1,008	11,2/ 10,9	71,3/ 71,2	8,5/ 8,0	36,2/ 36,2	54,5/ 55,5	18,93/ 16,65

Примітка. Чисельник – показник для коксу батарей № 3-4, знаменник – для батарей № 5-7.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Виходячи з викладеного, можна зробити висновок, що на показники "гарячої" міцності (*CSR*) і реакційної здатності (*CRI*) доменного коксу значний вплив здійснює марочний склад вугільної шихти, спікливість компонентів. Кращі показники *CSR* (67,6-68,7 %) і *CRI* (27,3-27,5 %) отримані при оптимальному вмісті в шихті вугілля 66,1 % спікливих і коксоутворюючих марок, спікливості ($y = 15,1-5-15,2$ мм) і виході летючих речовин ($V^{daf} = 25,1$ %).

Таким чином, дослідження взаємозв'язку основних показників якості вугільної шихти для коксування з показниками "гарячої" міцності коксу (*CSR*) і його реакційної здатності (*CRI*) встановили, що показники *CRI*, *CSR*

залежать від спікливості опіснюючих і спікливих компонентів, а також від відбивної здатності вітриніту.

Показано, що збільшення долі участі в шихті вугілля коксоутворюючих марок К, КП, ПС покращує показник міцності по *CRI* і *CSR*, а низькометаморфізованого вугілля - знижує.

Кращі показники *CSR* і *CRI* (відповідно до 67,6-68,7 і 27,3-27,5 %) були отримані при вмісті вугілля коксоутворюючих і спікливих марок 66,1 % у тому числі Ж 17,3 % низькометаморфізованого (ГЖ+КСН) 21,8 % при спікливості шихти 15,1-15,2 мм, виході летючих речовин 25,1 %, показнику відбиття вітриніту $R_o = 1,142$; найгірші показники "гарячої" міцності коксу і його реакційної здатності (відповідно до 54,5- 55,5 і 36,2 %) отримані при мінімальному вмісті жирної основи (9,6 %) і максимальному вмісті (43,5 %) низькометаморфізованого вугілля (КСН, ГЖ), а також низькому значенні $R_o = 1,008$.

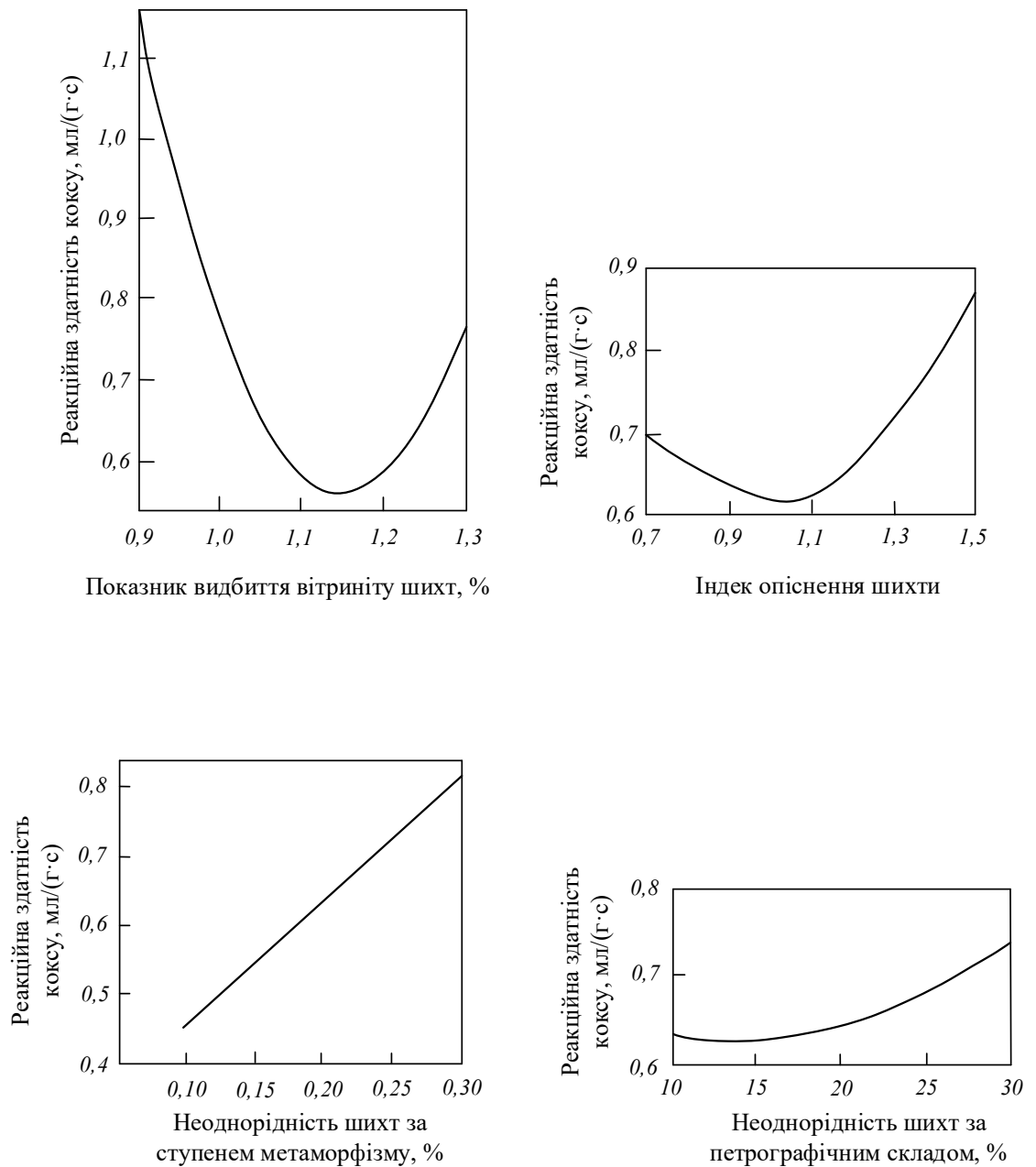
1.3.2 Вплив петрографічного складу вугільних шихт і ступеню метаморфізму вугілля на якість коксу за показником *CRI*

Відомо, що реакційна здатність коксу залежить від стадії метаморфізму та петрографічного складу вугілля. Тому одним з шляхів регулювання реакційної здатності коксу є підбір вугілля з урахуванням їх петрографічного складу і ступеня метаморфізму при складанні шихт для коксування. Показник реакційної здатності визначається головним чином ступенем впорядкованості вуглецевої структури коксу, тому багато в чому залежить від показника відбиття вітриніту шихти R_o , який формує певну текстуру коксу за типами анізотропних структур, починаючи зі стадії пластичного стану і закінчуючи коксом з певною кінцевою температурою його отримання і часом ізотермічної витримки. На показник реакційної здатності впливає також параметр $\sigma_{ск}$ - ступінь неоднорідності за петрографічним складом, як фактор локальних дефектів, що формуються в

структурі коксу через різний вміст останніх в шихті для коксування. Зі збільшенням показника відбиття вітриніту вугілля хімічна активність отриманого з них коксу зменшується до мінімуму в області $R_o = 1,2-1,4$ %, коли кокс характеризується грубомозаїчною структурою, а потім збільшується. Участь в шихті низькометаморфізованого вугілля ($R_o < 0,9$ %) приводить до формування ізотопної структури коксу з підвищеною реакційною здатністю [14].

Для вивчення зміни реакційної здатності був досліджений кокс, отриманий з петрографічно неоднорідних вугільних шихт [15]. Для дослідження було використане вугілля Кузнецького басейну найрізноманітнішої петрографічної характеристики: показник відбиття 0,71 - 1,70 %, вміст спікливих компонентів, що оцінюється по вітриніту, 25-88 %, міра відновлення вугілля 0,70-1,16. З цього вугілля було складено 70 варіантів вугільних шихт з двох-п'яти компонентів і прококсовано в напівзаводських печах ВУХІНа. При цьому петрографічні параметри шихт істотно змінювалися: показник відбиття 0,81- 1,27 %; індекс опіснення 0,78-1,54; показник відмінності вугілля в шихті по стадії метаморфізму 0,010-0,356 %, показник відмінності вугілля в шихті за вмістом спікливих компонентів 0,01-31,0 %. Аналіз дослідження дозволяє відмітити, що зі збільшенням показника відбиття вугільних шихт (1,1-1,2 %) реакційна здатність зменшується, а потім знову зростає. Так само змінюється реакційна здатність коксу і залежно від міри опіснення шихт, екстремум знаходиться в області 0,95-1,05 (рис. 1.3). Зміни реакційної здатності коксу залежно від параметрів петрографічної неоднорідності вугільних шихт мають однонапрямлений характер: з їх ростом збільшується і показник реакційної здатності, причому значніше від чинника неоднорідності шихти по стадії метаморфізму, ніж від параметра неоднорідності по петрографічному складу.

Так, при відносній однаковій (67 %) зміні вказаних чинників петрографічної неоднорідності шихти абсолютна величина реакційної



а - показника відбиття вітриніту вугільних шихт ($I = 1,1$; $\sigma_R = 0,20$ %; $\sigma_{ск} = 20$ %); б - ступеню опіснення вугільних шихт ($R_o = 1,05$ %; $\sigma_R = 0,20$ %; $\sigma_{ск} = 20$ %); в - показника неоднорідності вугільних шихт за ступенем метаморфізму ($R_o = 1,05$ %; $I = 1,1$; $\sigma_{ск} = 20$ %); г - показника неоднорідності вугільних шихт за петрографічним складом ($R_o = 1,05$ %; $I = 1,1$; $\sigma_R = 0,20$ %)

Рис. 1.3. Залежність реакційної здатності коксу від петрографічних показників

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

здатності коксу за інших рівних умов в першому випадку збільшується на 0,358 мл/(г-с), а в другому - на 0,161 мл/(г-с).

Вказані особливості зміни реакційної здатності коксу у зв'язку з петрографічною неоднорідністю вугільних шихт можна пояснити таким чином. Зі збільшенням відмінності вугілля в шихті по стадії метаморфізму має місце неспівпадання інтервалів пластичного стану вугілля. При цьому піроліз різнометаморфізованих вугільних зерен і однойменні фізико-хімічні процеси в них протікають усе більш відособлено і при різних температурах. Це приводить до різної міри незавершеності процесів взаємодії вугільних зерен на межі їх контакту і утворення неоднорідного по структурі коксу з підвищеною реакційною здатністю.

Таким чином, на реакційну здатність коксу, що отримується з сумішей різнометаморфізованого вугілля, впливає як відособленість піролізу їх зерен, так і незавершеність процесів взаємодії вугільних часток на межі контакту останніх. У неодноріднішій за петрографічним складом шихті з кузнецького вугілля переважають крайні типи мікрокомпонентів вітриніту і дюрену і низький вміст перехідних груп мікрокомпонентів (кларено-дюрену) при значній кількості фюзену. При цьому зерна групи вітриніту блоковані (знаходяться в оточенні) в основному зернами дюрену і фюзену, тобто перші мають малу можливість контакту один з одним. Внаслідок цього скорочується загальна поверхня контакту зерен вугілля, що мають близьку структуру і властивості і досить глибоко взаємодіють в процесі спікання і коксоутворення.

Через істотні відмінності в структурі і властивостях дюрену і вітриніту (особливо фюзену і вітриніту) між ними буде слабка фізико-хімічна взаємодія, що сприяє утворенню неоднорідного по структурі коксу, який має низькі характеристики міцності і відрізняється підвищеною реакційною здатністю. Петрографічний склад разом з впливом ступеню метаморфізму вугілля обумовлює формування певної пористої структури коксу і його реакційної здатності. Пористість коксу в цілому зростає зі збільшенням вмісту вугілля

не спікливих при нагріванні мацералів (інертиніту, частково семівітриніту). Однак вплив пористості на реакційну здатність коксу не однозначний, при дослідженні залежності реакційності від пористості коксу зв'язок виявився досить слабким. Тому необхідно оцінювати вплив на реакційну здатність не стільки загальної пористості коксу, скільки розподілу пор за величиною ефективного діаметру (мікро-, мезо- і макропори). Відмічається зменшення реакційної здатності та збільшення термомеханічних властивостей коксу з ростом вмісту у вугіллі інертиніту, що зв'язують зі зменшенням загальної пористості коксу внаслідок поліпшення газопроникності пластичної маси, зменшення її спучення в умовах більш легкої евакуації летких продуктів термічного розкладання [5]. З вищевикладеного видно, що на формування рівня «гарячої» міцності і реакційної здатності коксу головний вплив здійснюють генетичні особливості вугілля, що використовують для коксування, виражені петрографічними показниками середнього показника відбиття вітриніту (R_o), сумою спікливих компонентів (ΣSK) і показниками класичних властивостей органічної маси вугілля. Але реакційна здатність коксу залежить не лише від основних петрографічних параметрів властивостей вугільних шихт, а й від міри відмінності вугілля в шихті по стадії метаморфізму і петрографічному складу. З підвищенням петрографічної неоднорідності вугільних шихт зменшується міра впорядкованості тонкої структури коксу: збільшується міжплощинна відстань і зменшуються середні розміри вуглецевих блоків. Ці явища збільшують показник реакційної здатності коксу. Що стосується впливу ступеню метаморфізму вугілля на CRI, то встановлено, що участь в шихті низькометаморфзованого вугілля ($R_o < 0,9 \%$) приводить до формування ізотопної структури коксу з підвищеною реакційною здатністю.

1.3.3 Вплив мінеральних компонентів вугілля на якість коксу та показник CRI коксу

Склад мінеральних компонентів вугілля відноситься до числа найважливіших чинників, які впливають на якість коксу і визначають його цінність як матеріалу для доменної плавки. Мінеральні компоненти, що містяться в початковому вугіллі й перейшли в кокс в процесі коксування, істотно впливають також і на зміну реакційної здатності коксу по відношенню до СОг. Кількісною оцінкою вмісту у вугіллі і коксі мінеральних компонентів служить показник зольності (A^d) хоча це не цілком коректно із-за часткового розкладання деяких з них в процесах коксування і озолення. Деякі золоутворюючі елементи (Fe, Na, Ca, Mg, Ti) майже повністю переходять з вугілля в напівкокс, тоді як вміст інших (Ni, Mn, Cr, Zn, Si) при цьому значно зменшується [16].

Вплив золи. Прийнято вважати, що показник реакційної здатності коксу зростає зі збільшенням його зольності, хоча є і інші думки. За деякими даними [17], зв'язок між зольністю і реакційною здатністю коксу відсутній, оскільки у складі мінеральних компонентів є не лише каталізатори, але і інгібітори реакції газифікації вуглецю. Склад мінеральних компонентів відносять до важливих чинників, що впливають на реакційну здатність коксу, а їх валовий вміст (за показником зольності) розцінюють як малозначимий.

За даними [5] зольність і реакційна здатність 12 зразків коксу Карагандинського металургійного комбінату змінювалися в інтервалах відповідно 11,8- 13,4 % і 0,29-0,43 см³/(г·с) без статистично значимого взаємозв'язку ($r = 0,16$). При ширшому інтервалі варіювання зольності (від 7-8 до 14-15 %) в роботі [17] спостерігалось збільшення показника реакційної здатності коксу від 0,19-0,20 до 1,75-3,550 і питомого електроопору від 0,30-0,32 до 0,38-0,43 Ом·см. Цей ефект автори пов'язують із зростанням кількості активуючих оксидів в золі коксу (Na_2 , K_2O , CaO, MgO, Fe_2O_3) і зменшенням інгібуючих (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5).

Вплив основності золи. У багатьох роботах хімічний склад золи вугілля розглядають як важливий чинник, що обумовлює ту або іншу реакційну здатність і післереакційну міцність коксу, причому підвищений вміст основних оксидів (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) в золі вважають однією з причин (іноді визначальною) великих величин CRI і знижених величин CSR [18, 19]. У роботі [18] зіставлені показники якості коксу австралійської фірми P Steel (CSR і CRI відповідно до 74,1 і 17,7 %) і ВАННТМК (CSR і CRI відповідно до 64,9 і 25,3 %). Серед причин кращої якості австралійського коксу автор називає сприятливий склад золи, а саме низький вміст суми основних щів (15 %).

Зола вугілля України, особливо марки Ж, характеризується ще більшим вмістом основних оксидів (в сумі $>35\%$), а в золі коксованих шихт їх $>20\%$. При цьому кокс характеризується показниками CSR і CRI відповідно до 45-35-40 % [19].

Відношення масових долей основних і кислих оксидів золи вугілля називають "індексом основності" (I_o) і використовують при підборі складу шихти:

$$I_o = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \quad (1.2)$$

де $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - масові частки основних оксидів;
 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ - масові частки кислих оксидів.

Вплив хімічного складу золи вугілля на технологічні властивості коксу.

У міжнародній практиці виробництва коксу в останні роки стали додатково оцінювати якість коксівного вугілля за такими показниками, як реактивна здатність CRI і післяреактивна міцність CSR коксу. Зазвичай ці показники обчислюють під час формування вихідної шихти для коксування за емпіричними формулами, що враховують хімічний склад золи вугілля, яке входить до шихти. На нашу думку, найбільш точною та обґрунтованою формою є методика, що використовується в інституті УХІН (м. Хар'юків,

Україна), згідно з якою показник реактивної здатності CRI розраховується за рівнянням:

$$\text{CRI} = 13,39 + 9,35 \cdot I_o - 0,45 \cdot I_o^2 \quad (1.3)$$

де I_o - індекс основності, %.

$$I_o = \frac{100A^d (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf})(SiO_2 + Al_2O_3)}, \quad (1.4)$$

де A^d - зольність вугілля, %; V^{daf} – вихід летких речовин, %; Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 – масові доли оксидів %.

Показник CSR розраховується за формулою:

$$\text{CSR} = 94,23 - 1,275 \cdot \text{CRI}. \quad (1.5)$$

Достовірність наведених рівнянь підтверджена промисловою практикою на Україні.

$$I_o = \frac{CaO + MgO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}, \quad (1.6)$$

Аналіз формул (1.4) і (1.6) для обчислення індексу основності показує, що формула (1.4) точніше відображає коксохімічні властивості вугілля, оскільки додатково враховує такі важливі показники, як густина вугілля та вихід летючих речовин.

Індекс основності характеризує плавкість золи. За даними хімічного аналізу золи розраховано коефіцієнт плавлення золи ($K_{пл}$) за формою:

$$K_{пл} = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO + Fe_2O_3}, \quad (1.7)$$

По значенню коефіцієнта плавлення золи проводять оцінку процесу плавлення золи: чим більше $K_{пл}$ тим більш буде тугоплавка зола.

Кокс з $\text{CRI} < 20$ % може бути отриманий з шихти $A^d = 8$ %, якщо у складі золи загальний вміст основних оксидів не перевищує 9 % [18].

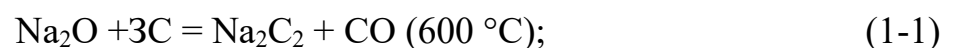
У роботі [20] приведена характеристика хімічного складу золи донецького вугілля, а також шихт коксохімічних заводів України. Вони

містять в середньому 23,2 % суми основних оксидів, у тому числі 16,3 % Fe_2O_3 , і мають середню величину $I_0=4,87$, тоді як шихта фірми "Рурколе" (Німеччина) характеризується відповідними величинами 17,5; 9,0 % та 2,08. Оскільки багато технологічних властивостей, а також умови коксування порівнюваних шихт досить близькі, саме відмінності складу мінеральної частини обумовлюють велику різницю у величинах CSR (28,9 і 63,0 %) і CRI (46,1 і 24,0 %) для коксу, отриманого з українського вугілля, порівняно з німецьким коксом. Тому, якість коксу за показниками CSR і CRI може бути поліпшена підбором вугілля з мінімально можливим вмістом основних оксидів в золі. Вплив сірки. В результаті більш 200 лабораторних коксувань було виявлено визначальний вплив вмісту SO_3 в золі на термомеханічну міцність коксу: збільшення вмісту SO_3 на 1 % знижує показник CSR на 20-24 % і приблизно на стільки ж збільшує CRI [21].

Відома також думка, що підвищений вміст сірки і фосфору прямим чином не впливає на поведінку коксу в доменній печі. Разом з цим існує точка зору про інгібуючий вплив сполук сірки на показник реакційної здатності коксу. Підставою для цієї гіпотези служить той факт, що конверсія карбідного вуглецю ефективно гальмується у присутності сірки.

Вплив на реакційну здатність сірчистості коксу слід розглядати диференційовано, маючи на увазі вміст в ньому сульфідної і органічної сірки (вмістом сульфатної сірки через її малу кількість можна нехтувати). Найбільш "шкідлива" сульфідна сірка, яка, інтенсивно газифікуючись в межах від 1000 до 1500 °C, послаблює його структуру, з одного боку, і звільняє пори коксу для швидкої газифікації вуглецю відновним газом, з іншого [22].

Вплив лугів. Утворення карбідів Si, Al, Ca і Mg відбувається тільки при >1200 °C. На відміну від перерахованих елементів карбіди лугів утворюються вже при 500-600 °C:





В результаті цих перетворень лужних сполук структура коксу слабшає і швидко руйнується внаслідок протікання реакції Будуара.

Проте всупереч викладеному оксиди лужних металів віднесені до інгібіторів реакції газифікації [23]. Збільшення на 1 % вмісту в золі коксу оксидів Fe_2O_3 і CaO веде до зростання значень CRI відповідно на 1,1 і 2,2 %, а оксидів K_2O і P_2O_5 - до зниження величини цього показника відповідно на 1,4 і 3,0 %. Ця оцінка суперечить загально визначеній, відповідно до якої в європейських країнах встановлена жорстка норма вмісту в доменному коксі лужних металів, у більшості випадків не більше 0,2 % [7].

Таким чином, використання вугілля зі сприятливими (низькою основністю) властивостями золи дозволяє значно знизити в цілому показник CRI коксу. Підвищення CRI коксу в основному пов'язане з використанням вугілля з високою основністю золи та низьким виходом летючих. Реакційну здатність, а також і інші властивості коксу слід розглядати у зв'язку не з вмістом того чи іншого оксиду в його золі, якої в коксі немає, а з фактичним вмістом і-того елемента в мінеральних компонентах коксу. Збільшення на 1 % вмісту в золі коксу оксидів Fe_2O_3 і CaO веде до зростання значень CRI відповідно на 1,1 % і 2,2 %, а оксидів K_2O і P_2O_5 до зниження величини цього показника відповідно на 1,4 і 3,0 %. Окрім мінеральних компонентів, що впливають на збільшення показника реакційної здатності коксу, відомі й такі, що знижують цей показник. До них відносять SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ; до інгібіторів відносять також сполуки бор.

1.3.4 Вплив умов підготовки вугільної шихти та її коксування на показники CRI і CSR

Основні закономірності зміни показників якості доменного коксу, а саме CRI і CSR, залежно від властивостей вугільної шихти, особливостей її підготовки до коксування і власне процесу коксування науково обґрунтовані

і широко використовуються в практиці виробництва коксу. Зокрема, на реакційну здатність та термомеханічну міцність коксу суттєво впливають умови підготовки вугільної шихти до коксування.

Слід зазначити, що усі відомі способи підготовки шихти до коксування, які призводять до збільшення її насипної щільності, сприяють зниженню реакційної здатності і підвищенню термомеханічної міцності коксу. Такими методами служать трамбування, брикетування та термічна підготовка вугільної шихти. Експерименти по коксуванню трамбованої шихти на заводах ФРН і Індії показали підвищення термомеханічної міцності на 5 %. Сушка шихти до 2 % -ної вологості з подальшим брикетуванням класу <0,30 мм призводить до підвищення термомеханічної міцності коксу на 4,5 %. Збільшення насипної щільності завдяки термічній підготовці при коксуванні в однокамерній системі (Кайзерштуль, ФРН) також дає підвищення термомеханічної міцності.

Згідно з [24] збільшення насипної щільності завантаження на 100 кг/м^3 призводить до підвищення термомеханічної міцності коксу на 4-9 % і дозніження реакційної здатності приблизно на таку ж величину. Для отримання коксу з високим рівнем CSR (>70 %) і низьким CRI (<25 %) вимоги до ступеню дроблення початкового вугілля складають: > 6,2 мм (< 5 %); < 3,35мм (86 %); < 2мм (76 %). Для коксових батарей великого об'єму прийнятніше тонке подрібнення вугілля з вмістом класу <0,5 мм 38-45 %. Таке подрібнення сприяє підвищенню механічної міцності коксу, але, в той же час, призводить до деяких втрат виробництва через зниження насипної щільності шихти. Всупереч цьому зниження реакційної здатності коксу досягається при збільшенні крупності шихти, причому найбільший ефект спостерігається у разі слабоспікливого вугілля марок Г і ПС, а також для шихт, що містять 70 % вугілля марки Г [25]. Умови коксування вугільної шихти також суттєво впливають на якість коксу, зокрема його реакційну здатність.

Результати роботи по дослідженню зміни реакційної здатності коксу по

ширині камери коксування [26] свідчать, що показник реакційної здатності кусків коксу в районі центрального шва для усіх класів крупності має найбільше значення. Це пов'язано з нижчою кінцевою температурою в області шва і меншою тимчасовою витримкою при цій температурі, що обумовлює меншу міру структуризації вуглецевого каркасу. У міру віддалення шматків коксу від центрального шва і наближення до стінки камери значення його реакційної здатності знижується, що свідчить про глибші процеси впорядкування вуглецевої структури коксу. Проте в районі пристінного розташування кусків коксу, тобто при найбільш високих температурах і найбільш тривалій їх дії, спостерігається зростання реакційної здатності коксу. Це можна пояснити тим, що основний об'єм (75-85 %) усіх парогазових продуктів, що виділяються в процесі коксування, проходить через пристінну область, активуючи вуглець коксу. Отже, зростає і його реакційна здатність. Для отримання низької реакційної здатності коксу потрібна достатня витримка при кінцевій температурі коксування в умовах, коли вже відсутній процес активації. Проте тривала витримка коксу при кінцевій температурі призводить до зміни гранулометричного складу в бік збільшення вмісту дрібних класів. При послідовному підвищенні температури в процесі коксування вугілля показник реакційної здатності безперервно зменшується внаслідок вдосконалення молекулярної і надмолекулярної структур коксу [25]. Регулюючи кінцеву температуру коксування і тривалість витримки при цій температурі, можна певною мірою впливати на структуру коксу і тим самим на його реакційну здатність [26].

Порівняння якості коксу мокрого і сухого гасіння показує, що реакційна здатність коксу сухого гасіння трохи нижча, ніж у коксу мокрого гасіння, внаслідок зниження термічної напруги.

Коксування вугільних шихт з добавками нафтового коксу, коксового дріб'язку або залишків від нафтопереробки призводить до деякого зниження показника CSR і відповідно до більш менш чіткого підвищення реакційної здатності отриманого коксу [24]. Чітко простежується залежність

показника CRI від терміну служби коксових батарей, тобто від стану пічного фонду: чим довше коксові батареї використовуються у виробництві, тим вища реакційна здатність отриманого в них коксу [27]. Таким чином, зменшенню реакційної здатності коксу сприяють основні способи підготовки вугільної шихти до коксування, які призводять до збільшення її насипної щільності. Завдяки трамбуванню, брикетуванню та термічній обробці вугільної шихти показник реакційної здатності можна зменшити на 4-9 %. Що стосується впливу процесу коксування на CRI коксу, то низький показник цієї величини можна досягнути високою кінцевою температурою коксування та більшою тривалістю витримки при цій температурі. Також слід зазначити, що чим довше коксові батареї використовуються у виробництві, тим вища реакційна здатність отриманого в них коксу.

1.3.5 Структура коксу та її вплив на його реакційну здатність

Найважливішою властивістю коксу, як і багатьох твердих тіл, являється його структура, яка також впливає на показник реакційної здатності коксу і може бути розглянута на чотирьох рівнях: молекулярному, надмолекулярному, мікроскопічному і макроскопічному. Молекулярна структура коксу характеризується розміром макромолекул. Вона представляється як існування окремих ароматичних ґрат, що мають характеристику L_2 . Для різного коксу L_2 дорівнює 5-11 нм, що складає від 15 до 30 ароматичних циклів.

Вважають, що мікроскопічно анізотропні частки складаються з однаково орієнтованих блоків. Чим вони більше за розміром, а їх концентрація в ізотропній речовині значніша, тим вище міра впорядкованості структури коксу. Переважання в коксі тієї або іншої оптичної структури залежить від хімічної зрілості і опекаємості початкового вугілля. Чим вище міра хімічної зрілості вугілля, тим більше міри впорядкованості структури отриманого з нього коксу і тим значніше розміри анізотропних часток.

Особливості оптичної текстури коксу починають формуватися ще на стадії пластичного стану вугілля. Мікроскопічна структура коксу - це сукупність мікропористої структури коксу, оскільки сама речовина коксу займає близько половини об'єму його пористого тіла, а іншу половину займають пори різного розміру (від нанометрів до декількох міліметрів). По розмірах їх умовно підрозділяють на: мікропори, (< 6 нм); перехідні пори (6 мкм - 22 мкм) і макропори (> 22 мкм). Макропори обумовлюють значну внутрішню поверхню до сотень квадратних метрів в одному грамі коксу. Вони займають від 40 до 90 цієї внутрішньої поверхні. Визначають їх за допомогою електронної мікроскопії, адсорбцією газів при низьких температурах і іншими методами. Макроструктуру коксу вивчають на полірованих шліфах його зразків при збільшенні в 160 разів. Крім того, вимірюють і товщину стінок. Об'єм макропор перевищує суму об'ємів усіх інших пір, а поверхня їх складає лише доли відсотка усієї внутрішньої поверхні. Металургійний кокс має губчасту структуру, в якій пори спостерігаються у вигляді бульбашок, що утворюються у момент затвердіння пластичної маси. Відомо, що молекулярна структура і оптична текстура (тобто надмолекулярна структура) коксу багато в чому залежать від міри розм'якшення вугілля в пластичному стані. Чим більше розм'якшується вугілля при переході в пластичний стан, тим досконаліше молекулярна структура коксу, тим більше розміри анізотропних одиниць і вміст анізотропного вуглецю, а отже, менше його реакційна здатність, оскільки анізотропні текстури сприяють зменшенню кількості мікротріщин в коксі [28]. Для утворення анізотропних одиниць в коксі має значення не лише кількість вугілля, що перейшло в пластичний стан, але і в'язкість (плинність) пластичної маси.

Роботами французьких дослідників [29] показано, що структура отриманого з окисленого вугілля коксу характеризується меншим вмістом молекулярно-орієнтованих доменів і, у зв'язку з цим, більш високою реактивністю. Зі збільшенням міри відновленості вугілля доля дрібнозернистої і листуватої структур в коксі зменшується, а

середньозернистої збільшується. Це пов'язують з кращою спікливістю і більшою плинністю відновленого вугілля, що, у свою чергу, створює кращі умови для утворення мезофази в пластичній масі витринізованої речовини, а отже, для формування коксу з підвищеним вмістом найбільш досконалих оптичних структур середньо- і крупнозернистого типу, що і повинне призводити до зниження реакційної здатності коксу [28]. Таким чином, величину реакційної здатності коксу можна регулювати, змінюючи вуглеводневий склад рідкої фази підбором і співвідношенням коксівного вугілля. Чим більше кількість ароматичних вуглеводнів в рідких нелетких складових, тим нижча реакційна здатність коксу. Залежність реакційної здатності коксу від міри розм'якшення в пластичному стані полягає в наступному: чим більше розм'якшується вугілля при переході в пластичний стан, тим досконаліше молекулярна структура коксу, тим більше розміри анізотропних одиниць і вміст анізотропного вуглецю, а отже, менше його реакційна здатність, оскільки анізотропні текстури сприяють зменшенню кількості мікротріщин в коксі.

1.4 Висновки та постановка задач дослідження

Ефективність усіх технологічних функцій коксу в доменному процесі більшою чи меншою мірою пов'язана з його реакційною здатністю, яку більшість доменників розглядають як "інтегральний показник якості коксу".

На підставі розглянутого матеріалу можна зробити висновки про основну роль коксу в доменному виробництві, як CRI впливає на роботу доменної печі, а також який вплив величину реакційної здатності мають чинники сировинного та технологічного характеру.

1. Завантажуваний в доменну піч кокс не повинен містити ні дрібних кусків, погіршуючих газопроникність шихти, ні надмірно крупних кусків, які, правило, уражених тріщинами і легко руйнуються в печі з утворенням дрібних фракцій. Кокс має бути пористим для забезпечення хорошої

горючості в доменній печі і мати високу теплоту згорання для отримання необхідної кількості тепла і необхідної температури. Кокс повинен містити по можливості менше сірки, фосфору і помірну кількість летючих речовин. У коксі завжди міститься волога, що поступає в кокс при його гасінні на коксохімічному заводі або з атмосфери. У зв'язку з тим, що кокс в доменній печі завантажують по масі, вміст вологи в коксі повинен витримуватися постійним для збереження заданого теплового режиму печі. Величина реакційної здатності коксу повинна знаходитися в межах 25-30 %.

2. Реакційна здатність коксу суттєво впливає на техніко-економічні показники доменного процесу, а саме на питому витрату коксу та продуктивність доменної печі. Експериментально було доведено, що збільшення показника реакційної здатності на 10 % призводить до зниження продуктивності доменних печей на 3,6 % і до збільшення питомої витрати коксу на 2 кг/т. Також було встановлено, що реакційна здатність коксу значно впливає на профіль розподілу температур і газових потоків, і як наслідок, на міру використання газу. Крім цього, CRI коксу здійснює вплив на міцність коксової насадки в горновій зоні печі, оскільки газифікація коксу супроводжується послабленням його структури.

3. Показники CRI, CSR залежать від спікливості опіснюючих і спікливих компонентів, а також від відбивної здатності вітриніту. Доведено, що збільшення долі участі в шихті вугілля коксоутворюючих марок К, КП, ПС покращує показник міцності по CRI і CSR, а низькометаморфізованого вугілля - знижує. Кращі показники CSR і CRI (відповідно до 67,6-68,7 і 27,3-27,5 %) були отримані при коксуванні вугілля коксоутворюючих і спікливих марок 66,1 % у тому числі Ж 17,3 % низькометаморфізованого (ГЖ+КСН) 21,8 % при спікливості шихти 15,1-15,2 мм, виході летючих речовин 25,1 %, показнику відбиття вітриніту $R_0 = 1,142$.

4. На формування рівня «гарячої» міцності і реакційної здатності коксу головний вплив здійснюють генетичні особливості вугілля, що використовують для коксування, виражені петрографічними показниками

середнього показника відбиття вітриніту (R_o), сумою спікливих компонентів (ΣSK) і показниками класичних властивостей органічної маси вугілля. Але реакційна здатність коксу залежить не лише від основних петрографічних параметрів властивостей вугільних шихт, а і від міри відмінності вугілля в шихті по стадії метаморфізму і петрографічному складу. З підвищенням петрографічної неоднорідності вугільних шихт зменшується міра впорядкованості тонкої структури коксу: збільшується міжплощинна відстань і зменшуються середні розміри вуглецевих блоків. Ці явища збільшують показник реакційної здатності коксу. Що стосується впливу ступеню метаморфізму вугілля на CRI, то встановлено, що участь в шихті низькометаморфізованого вугілля ($R_o < 0,9 \%$) приводить до формування ізотопної структури коксу з підвищеною реакційною здатністю.

5. Використання вугілля зі сприятливими (низькою основністю) властивостями золи дозволяє значно знизити в цілому показник CRI коксу. Підвищення CRI коксу в основному пов'язане з використанням вугілля з високою основністю золи та низьким виходом летючих.

Збільшення на 1 % вмісту в золі коксу оксидів Fe_2O_3 і CaO веде до зростання значень CRI відповідно на 1,1% і 2,2 %, а оксидів K_2O і P_2O_5 до зниження величини цього показника відповідно на 1,4 і 3,0 %.

Окрім мінеральних компонентів, що впливають на збільшення показника реакційної здатності коксу, відомі й такі, що знижують цей показник. До них відносять SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ; до інгібіторів відносять також сполуки бору.

6. Зменшенню реакційної здатності коксу сприяють основні способи підготовки вугільної шихти до коксування, які призводять до збільшення її маси насипної щільності. Завдяки трамбуванню, брикетуванню та термічній обробці вугільної шихти показник реакційної здатності можна зменшити на 4-9 %. Що стосується впливу процесу коксування на CRI коксу, то низький показник цієї величини можна досягнути високою кінцевою температурою коксування та більшою тривалістю витримки при цій температурі.

7. Величину реакційної здатності коксу можна регулювати, змінюючи вуглеводневий склад рідкої фази підбором і співвідношенням коксівного вугілля. Чим більше кількість ароматичних вуглеводнів в рідких нелетких складових, тим нижча реакційна здатність коксу. Залежність реакційної здатності коксу від міри розм'якшення в пластичному стані полягає в наступному: чим більше розм'якшується вугілля при переході в пластичний стан, тим досконаліше молекулярна структура коксу, тим більше розміри анізотропних одиниць і вміст анізотропного вуглецю, а отже, менше його реакційна здатність, оскільки анізотропні текстури сприяють зменшенню кількості мікротріщин в коксі. Враховуючи сказане в дипломній роботі ставляться наступні задачі:

1. Дослідити аналіз зміни показників CRI і CSR коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».
2. Вивчити вплив різних добавок у шихту на показник CRI.
3. Встановити залежність реакційної здатності коксу від величини зольності та складу золи вугільної шихти.
4. Розробити технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності коксу за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти, яка сприятиме зменшенню питомої витрати коксу і збільшенню продуктивності доменної печі

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти

2.1.1 Дослідження зміни показників CSR та CRI коксу на КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Внаслідок дефіциту вугілля в сучасній сировинній база коксування необхідно надавати особливого значення технологічним чинникам, що дозволяють підвищити високотемпературні властивості коксу [30].

У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксового вугілля в Україні на коксохімічних заводах змушені вводити в шихту для коксування значні кількості марок вугілля, що слабо спікаються і не спікаються, а також змінювати умови і режими коксування, що негативно позначається на якості доменного коксу. Основна кількість коксу, що випускається коксохімічними заводами України, має низьку якість за показниками CSR та CRI ($CSR < 50\%$, а $CRI > 35\%$) і такий кокс придатний тільки для доменних печей без вдування ПВП. Кокс з такими якісними показниками не відповідає вимогам, що висувуються до коксу за кордоном і окремими заводами України.

Інтенсифікацію процесів коксохімічного виробництва, поліпшення якості коксу, в тому числі і за показниками CSR та CRI, коксохіміки, як правило, здійснюють за допомогою вдосконалення підготовки вугільної шихти для коксування і варіювання технологічними факторами виробництва: підбором диференційованого складу шихти з урахуванням марочного і петрографічного складу (вмісту) вугілля, вибіркоким подрібненням вугілля перед коксуванням, глибоким сушінням і попередньою підготовкою вугілля - трамбуванням, брикетуванням частини вугільної шихти, обробкою шихти різними органічними і неорганічними добавками, введенням у шихту відхо-

дів гуми, пластику, швидкістю нагрівання, варіюванням кінцевої температури коксування та ін. З аналізу існуючих технологій виробництва коксу впливає, що для отримання доменного коксу з високими якісними показниками необхідні в першу чергу високоякісне коксове вугілля.

Результати досліджень зміни показників CSR та CRI коксу в період з січня 2006 року по квітень 2007 року, які проводили на КХВ "АрселорМіттал Кривий Ріг", представлені на рисунках 2.1 і 2.2. З рисунка 2.1 видно, що найбільш низький показник CRI коксу мав місце в листопаді 2006 року (33,0 %). З грудня 2006 року і до квітня 2007 року показник CRI коксу зростав до 36,7 %. Показник CSR коксу був найкращим у листопаді 2006 року (51,7 %). З грудня 2006 року і до квітня 2007 року він падав до 45,4 %

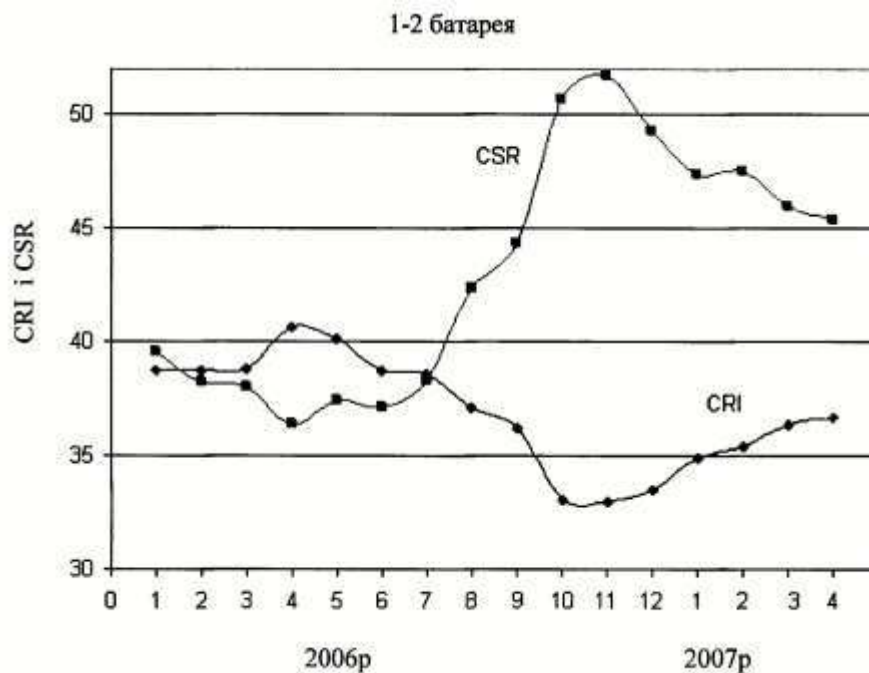


Рис.2.1. Зміна показників CSR та CRI коксу (1-2 батарея) в період з січня 2006 року по квітень 2007 року

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [30]

Погіршення якості коксу за показниками CSR та CRI відбувалося внаслідок зміни сировинної бази коксування. Сировинна база України вкрай бідна коксовим вугіллям, що добре коксується, відповідно отримання коксу,

який задовольняв би світовим стандартам, стає проблемою номер один у металургійному виробництві.

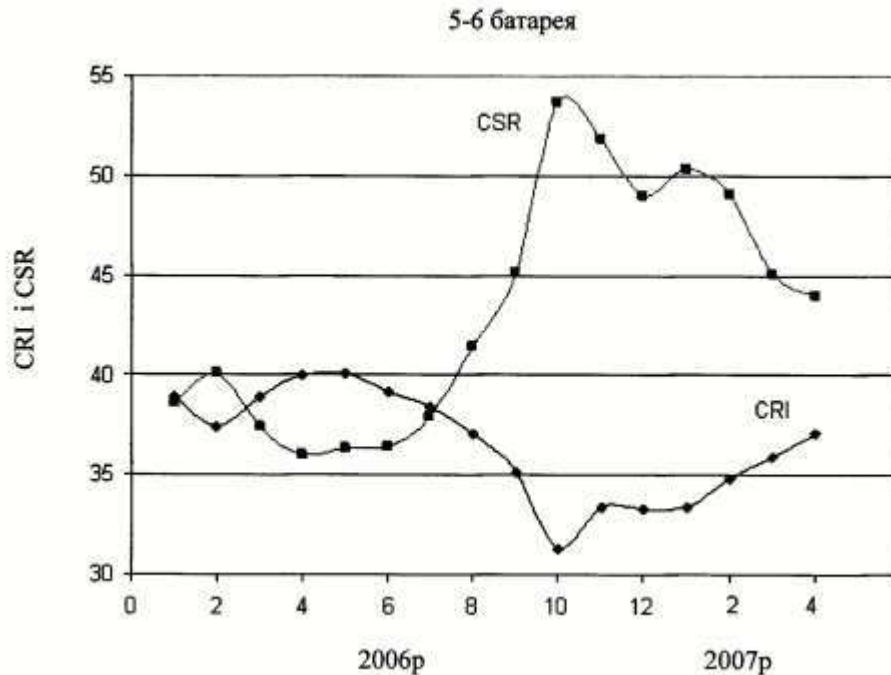


Рис.2.2. Зміна показників CSR та CRI коксу (5-6 батарея) в період з січня 2006 по квітень 2007 року

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [30]

Динаміка зміни показників CSR та CRI коксу (5-6 батарея) в період з січня 2006 року по квітень 2007 року представлена на рисунку 2.3. З рисунка 2.3 видно, що найбільш низький показник CRI коксу - в жовтні 2006 року (31,3 %). З листопада 2006 року і до квітня 2007 року показник CRI коксу росте до 37,1 %. Показник CSR коксу найкращий (53,7 %) у жовтні 2006 року. З листопада 2006 року і до квітня 2007 року він падає до 44,0 %.

2.2 Дослідження впливу різних добавок у шихту на показник CRI коксу

В умовах майже повного виснаження та відсутності запасів донецького вугілля марки ПС активізувалися пошуки альтернативних способів опіснення

шихти, наприклад в результаті добавки до неї різних вуглецьвмісних і інших матеріалів, що зазвичай в шихті не використовуються. Випробовували присадки коксового дріб'язку різного подрібнення, органічних рідких вуглеводнів коксохімічного походження, а також відходів глиноземного виробництва. Результати вивчення впливу цих компонентів шихти на високотемпературні властивості коксу представлені далі. Присадка коксового дріб'язку. Вплив коксового дріб'язку різного подрібнення при його постійній масовій долі у складі шихти на високотемпературні властивості коксу досліджували на Запорізькому коксохімічному заводі методом ящикних коксувань [33]. Характеристика компонентів дослідних шихт, а також фізико-механичні і високотемпературні властивості коксу представлені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1

Характеристика компонентів і властивостей дослідних шихт

ЦЗФ; марка вугілля	Вміст компонентів, %			Технічний аналіз, %				у, мм
	базова	вар. 1	вар. 2	A ^d	S _t ^d	V ^d	V ^{daf}	
Жовтнева; Г	15,0	14,8	14,8	8,8	1,64	33,9	40,7	16
Распадська; ГЖ	20,0	19,8	19,8	10,5	0,56	32,6	36,4	17
Печорська; ГЖ+Ж	5,0	5,0	5,0	10,5	0,80	30,0	33,6	18
Київська; Ж	30,0	29,7	29,7	9,3	2,44	28,2	31,9	30
Чумаковська; К	20,0	19,8	19,8	9,7	0,80	26,9	29,8	14
Сибір; КС	10,0	9,9	9,9	10,8	0,61	21,5	24,1	8
Коксовий дріб'язок	-	1,0*	1,0**	15,2	1,32	1,9	2,3	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [33]

Таблиця 2.2

Фізико-механічні і високотемпературні властивості коксу

Варіант шихти	A ^d , %	S _t ^d , %	V ^{daf} , %	M ₂₅ , %	M ₁₀ , %	d ^d , %	ТМП, %	CRI, %	CSR, %
Базовий	12,6	1,08	1,12	90,6	8,3	1,953	78,9	41,2	41,7
1	12,9	1,13	0,58	90,6	8,5	1,938	77,1	40,4	39,7
2	12,8	1,11	0,62	88,8	9,5	1,932	75,5	41,3	42,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [33]

2.3 Залежність реакційної здатності коксу від величини зольності і складу золи

Зольність коксу в основному залежить від зольності вихідного вугілля і зазвичай становить 10-12 %. Концентрація і стан мінеральних домішок, що містяться в золі коксу, визначаються якістю вугільної сировини, технологією її підготовки і коксування. Мінеральні включення, що знаходяться в коксі, впливають на його реакційну здатність за відношенням до CO₂ в основному з двох причин:

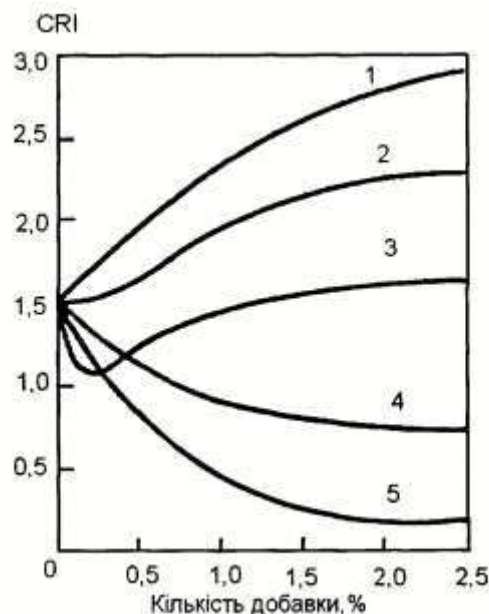
1) у результаті їх каталітичної дії на процеси термохімічних перетворень, що відбуваються у вугіллі при коксуванні і особливо в пластичному стані;

2) за рахунок каталітичного впливу їх на швидкість реагування вуглецю коксу з активними газами [36].

Ці причини викликані тим, що мінеральні домішки безпосередньо беруть участь як у процесі утворення і зміни властивостей пластичної маси вугілля (що впливає на формування фізико-хімічних властивостей коксу і, зокрема, на його реакційну здатність), так і в реакціях окиснення вуглецю коксу газами, які реагують. Вплив мінеральних домішок на величину показника реакційної здатності коксу доведено численними дослідженнями

при добавках різних мінеральних речовин до вугільної шихти. Наприклад, при внесенні до вугільної шихти солей лужних металів реакційна здатність коксу за відношенням до CO_2 зростає.

Зниження реакційної здатності коксу було зафіксовано при внесенні у вугільну шихту невеликих кількостей солей бору. За даними [37], введення в шихту коксування крейди або залізної руди підвищує реакційну здатність коксу. При цьому чим більше, наприклад, добавка руди, тим більше реакційноздатним стає кокс. За відомими даними, добавка оксиду кальцію і заліза викликає підвищення, а добавка кремнезему та глинозему - зниження реакційної здатності. У роботі [38] також наголошується підвищена відновлювальна здатність до CO_2 коксу з вугілля, хімічний склад золи яких характеризується високим вмістом оксиду кальцію (~ 20 %) та оксиду заліза (~ 32 %) Аналогічні закономірності отримані в експериментах при добавках до вугільної шихти різних мінеральних речовин від 0,5 до 2,5 % (рисунок 2.3).



1 - CaO; 2 - Fe₂O₃; 3 - (NH₄)₂SO₄; 4 - Al₂O₃ (корунд); 5 - H₃BO₃

Рис. 2.3. Залежність реакційної здатності коксу при 1000 °С від мінеральних добавок

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [38]

З рисунка 2.3 можна бачити, що як мінеральні домішки, що містяться у вихідному вугіллі і які перейшли в кокс у процесі його коксування, так і штучно внесені у вугільну шихту, істотно впливають на зміну реакційної здатності коксу за відношенням до CO_2 .

Причому одні мінеральні речовини є інгібіторами реакції вуглецю з його діоксидом, інші - активаторами цієї реакції. Найбільшу інгібуючу здатність мають сполуки бору, найбільшу активуючу - з'єднання лужних металів. Таким чином, можна було б очікувати прояву залежності між реакційною здатністю коксу і його зольністю. Однак, судячи з літературних джерел, такої залежності встановлено не було, мабуть тому, що в досліджуваних коксах одночасно містяться мінеральні домішки як інгібуючого, так і активуючого характеру за відношенням до реакції вуглецю з CO_2 , вплив яких призводить до нівелювання зміни показника реакційної здатності коксу. Можна припустити, що реакційна здатність коксів, отриманих з однієї сировини і при однакових умовах її коксування, обумовлюється різним вмістом мінеральних складових, що знаходяться в досліджуваному коксі. Для перевірки цих припущень провели експерименти, які дозволяють встановити залежність реакційної здатності коксу від вмісту золи в коксі з урахуванням кількості і характеру мінеральних її складових. Щоб виключити вплив таких параметрів, як природа вихідного вугілля і умови коксування, в даній роботі взяли для дослідження вугілля однієї марки КЖ, але яке має, як це було встановлено попередніми дослідженнями, різний вихідний склад золи [17]. Вихідна зольність вугілля складала 12 % для вугілля ш. «Шахтинська» і 12,3 % - для ш. «Степова». Зниження зольності обох вугілля домагалися їх додатковим збагаченням у важких середовищах (щільність розчину хлориду цинку 1200, 1300, 1400 і 1600 кг/м^3). Після збагачення вугілля випробовували на технічний аналіз і визначали вихід продуктів термофільтрування у відцентровому полі. Коксування випробуваних вугілля проводили в

лабораторній печі при постійній щільності завантаження (750 кг/м^3) і постійній швидкості коксування до досягнення по вісі завантаження $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Отриманий кокс аналізували на показники реакційної здатності і питомого електроопору. Одночасно проводили елементний аналіз золи вугілля і коксу. Результати досліджень представлені в таблицях 2.11 і 2.12. Склад золи коксу мало відрізняється від складу золи вугілля, крім вмісту сірки, яка в золі коксу знаходиться в меншій кількості, ніж у золі вугілля, так як частина сірки з вугілля випаровується в процесі коксування. Решта компонентів зольної частини коксу переходить з вугілля майже без зміни. Зі зменшенням зольності вугілля вихід рідкої нелетючої частини пластичної маси, судячи за результатами її термофільтрування у відцентровому полі, дещо збільшується ($19,7$ і $20,5 \%$) у порівнянні з виходом цієї складової у вихідному вугіллі.

Таким чином, спіклива здатність досліджуваного вугілля дещо зростає при зниженні його зольності. Склад золи вугілля розглядають як важливий чинник, що обумовлює ту або іншу реакційну здатність коксу, причому підвищений вміст основних оксидів (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) в золі вважають однією з причин (іноді визначальною) великих величин CRI [18, 19]. Відношення масових долей основних і кислих оксидів золи вугілля називають «індексом основності» (I_o) і використовують при підборі складу шихт

$$I_o = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \quad (2.1)$$

де $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - масові долі основних оксидів; $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ - масові долі кислих оксидів

Для отримання металургійного коксу високої якості ($\text{CRI} = 55 \%$) однією з вимог до шихти є значення індексу основності золи $I_o < 2,5$.

Таблиця 2.3

Дослідження залежності реакційної здатності коксу від вмісту золи в коксу, з урахуванням кількості і характеру мінеральних його складових

Вугілля, шахта	Товщина пластичного шару, мм	Золь- ність A ^d , %	Хімічний склад золи, % (масова доля)							
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	Na ₂ O+K ₂ O	P ₂ O ₅	S
КЖ, ш. «Шахтинська»	18,5	6,2	44,6	36,3	3,07	7,5	4,45	2,93	1,23	0,92
	18,0	6,8	43,8	35,5	2,18	7,4	5,83	2,70	1,32	1,26
	18,6	7,2	44,4	34,9	1,74	7,15	6,08	2,75	1,30	1,74
	18,2	9,6	43,6	34,7	1,74	7,8	6,40	2,98	1,00	1,80
	17,2	11,5	44,2	34,5	1,85	7,4	6,70	3,00	1,20	2,12
КЖ, ш. «Степна»	20,0	5,7	45,3	36,3	2,25	6,4	5,82	1,70	1,35	1,00
	19,7	6,5	45,6	35,2	2,07	7,4	5,85	1,62	1,12	1,17
	19,8	7,5	46,0	35,4	1,85	7,2	5,70	1,55	1,07	1,21
	18,8	9,1	46,9	33,5	1,80	7,4	5,52	2,25	1,02	1,63
	18,6	11,4	47,6	32,0	1,64	7,5	6,00	2,60	1,00	1,78

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

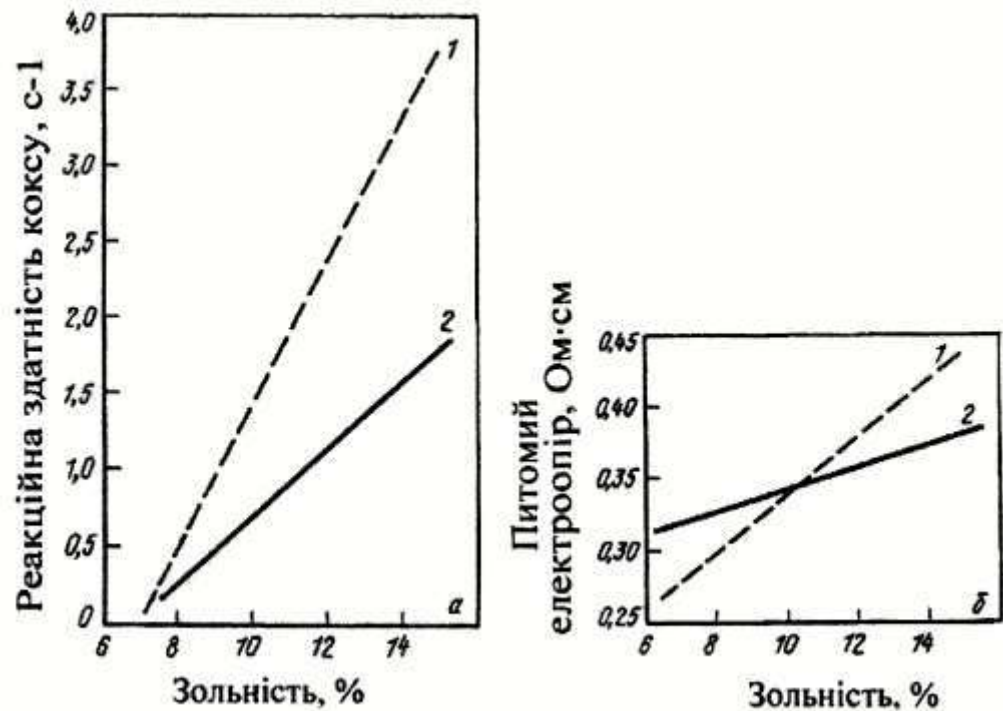
Таблиця 2.4

Дослідження залежності реакційної здатності коксу від хімічного складу золи

Кокс	Золь- ність коксу A ^d , %	Хімічний склад золи, % (масова доля)								ПЕО, Ом·см	Реакційна здатність (с ⁻¹) при температурі, °С			Пред- експонен- ціальний множник, с ⁻¹	Енергія актива- ції E, кДж/мо- ль
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO+ MgO	Na ₂ O+ K ₂ O	P ₂ O ₅	S		950	1000	1050		
Із вугілля ш. «Шах- тинська»	7,8	43,5	37,7	2,10	6,50	5,35	2,95	1,35	0,45	0,297	0,087	0,192	0,422	12,6·10 ⁷	214,86
	8,3	43,8	37,5	2,00	6,80	5,40	2,65	1,29	0,56	0,280	0,313	0,658	1,382	12,4·10 ⁷	201,67
	9,2	43,9	37,1	1,60	7,20	5,50	2,60	1,20	0,70	0,33	0,537	1,02	1,938	14,2·10 ⁶	174,14
	12,0	43,6	35,7	1,65	8,00	6,30	3,00	0,97	0,88	0,375	1,24	2,240	4,032	86,4·10 ⁵	160,51
	14,5	43,0	34,4	1,55	8,50	6,95	3,80	0,85	0,95	0,430	2,08	3,550	6,035	31,9·10 ⁵	145,10
Із вугілля ш. «Степ- на»	7,2	44,6	36,2	2,30	6,70	5,70	2,70	1,45	0,55	0,316	0,125	0,202	0,543	12,4·10 ⁷	211,036
	8,5	45,2	35,6	2,10	7,20	5,70	2,40	1,20	0,60	0,330	0,127	0,270	0,547	67,9·10 ⁶	204,72
	9,6	45,8	35,1	1,95	7,25	5,75	2,25	0,95	0,65	0,345	0,255	0,501	1,052	25,0·10 ⁶	187,60
	11,9	46,5	34,4	1,76	7,34	5,78	2,50	0,96	0,76	0,352	0,628	1,190	2,258	15,6·10 ⁶	173,49
	14,7	47,5	32,6	1,70	7,50	6,20	2,90	0,75	0,85	0,380	0,958	1,745	3,178	83,2·10 ⁵	162,76

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

Зміна реакційної здатності і питомого електроопору коксу від величини його зольності показана на рисунку 2.4



1,2- відповідно вугілля ш.Шахтинська і ш.Степова

Рис. 2.4. Залежність реакційної здатності коксу (а) і питомого електроопору (б) коксу від величини зольності

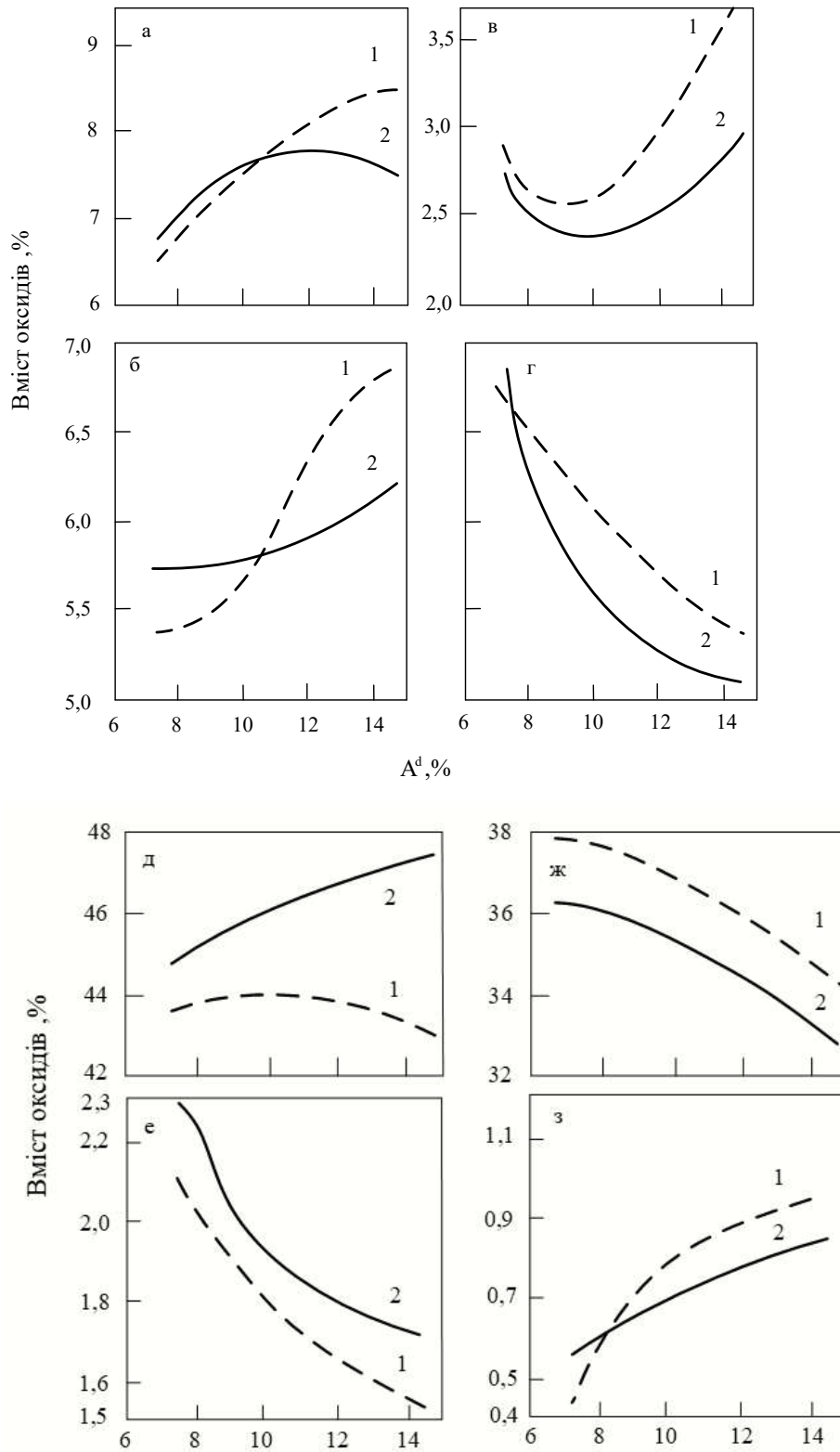
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

З графіків видно, що реакційна здатність коксу і його питомий електроопір при зменшенні зольності коксу знижуються. Причому для коксу, отриманого з вугілля ш. «Шахтинська», це зниження проявляється сильніше. Відзначимо, що при приблизно однаковій початковій зольності обох зразків коксу 14,5 і 14,7 % показники реакційної їх здатності сильно відрізняються: для коксу з вугілля ш. «Шахтинська» $3,5 \text{ с}^{-1}$, а з вугілля ш. «Степова» $1,7 \text{ с}^{-1}$, тобто більше ніж у два рази. Питомі електроопори, що визначають молекулярну структуру коксу, відрізняються (для цих коксів при первісній їх зольності) незначно і становлять 0,43 і 0,38 Ом·см. Необхідно відзначити, що це положення зберігається у 68 всьому досліджуваному діапазоні зміни зольності коксів, а при зольності 10,2 % показники питомого електроопору обох коксів стають рівними, що свідчить про близькість структур досліджуваних коксів і однакову природу вихідних вугілля. Близькими за

значенням стають і показники реакційної здатності зразків при їх низькій зольності (7,2 і 7,8 %).

Характер зміни реакційної здатності досліджуваних коксів від величини їх зольності співставимо зі зміною хімічного складу золи в залежності від її кількості в цих коксах. Ці зміни представлені на рисунку 2.5 у вигляді графічних залежностей вмісту різних оксидів, що змінюється відповідно з величиною зольності коксу в результаті послідовного попереднього збагачення їх вихідних вугілля. Реакційна здатність коксу залежить не тільки від величини його зольності, але й від якісної її характеристики, а точніше, від сумарного вмісту оксидів різного характеру, що впливають на швидкість реакції вуглецю з вуглекислим газом. Зниження зольності (рис. 2.5) відбувається за рахунок відділення від вугілля в ході збагачення переважно Fe_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $\text{CaO} + \text{MgO}$, SiO_2 і S. Вміст компонентів золи Al_2O_3 , TiO_2 і P_2O_5 при цьому істотно зростає. Як видно з рисунку 2.5, найбільше значення реакційної здатності коксу з вугілля ш.«Шахтинська» при зольності 14,5 % обумовлюється значним вмістом оксидів Fe_2O_3 , $\text{CaO} + \text{MgO}$ і $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в порівнянні з вмістом цих же складових в коксі з вугілля ш.«Степова» (при зольності коксу 14,7 %). При цьому вміст SiO_2 , Al_2O_3 і TiO_2 у коксу з вугілля ш. «Шахтинська» менше, ніж у коксу з вугілля ш. «Степова».

Таким чином, зі зростанням кількості активуючих оксидів у золі коксу ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $\text{CaO} + \text{MgO}$, Fe_2O_3) та убуванням оксидів, гальмуючих реакцію $\text{C} + \text{CO}_2$ (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 і P_2O_5), реакційна здатність коксу підвищується. Для встановлення цього зв'язку розраховували відношення суми активуючих оксидів $\Sigma_{\text{а.ок}}$ до суми оксидів, що викликають зниження реакційної здатності коксу $\Sigma_{\text{т.ок}}$, при різній зольності досліджуваних коксів. Для того щоб визначити, чи є зміна складу золи причиною зміни її величини, провели кореляційний аналіз зв'язку між $m = \Sigma_{\text{а.ок}} / \Sigma_{\text{т.ок}}$ і величиною зольності коксів, а також між показниками реакційної здатності цих коксів з відношенням m .



а-з - відповідно Fe_2O_3 ; $\text{CaO} + \text{MgO}$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; P_2O_5 ; SiO_2 ; TiO_2 ; Al_2O_3 ; S;

1 і 2 - відповідно вугілля ш.Шахтинська і ш.Степова

Рис. 2.5. Зміна вмісту оксидів у золі в залежності від її кількості в коксі

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

Встановлено, що зв'язок між реакційною здатністю коксу і відношенням ні більш тісний ($r_2 = 0,992$), ніж зв'язок між цим же відношенням і величиною зольності досліджуваних коксів (коефіцієнт кореляції $r_1 = 0,617$). Результати цих розрахунків представлені в таблиці 2.5, з якої видно, що значення для різних коксів при їх однаковій зольності різні і змінюються відповідно до зміни останньої.

Таблиця 2.5

Відношення суми активуючих оксидів до суми оксидів, що викликають зниження реакційної здатності коксу при різній зольності досліджуваних коксів

Показники	Кокс з вугілля ш.«Шахтинська»				Кокс з вугілля ш.«Степова»			
	вміст оксидів (%)		при зольності (%)		вміст оксидів (%)		при зольності (%)	
	7,8	9,2	12,0	14,5	7,2	9,6	11,9	14,7
Fe ₂ O ₃	6,50	7,20	8,00	8,50	6,70	7,25	7,34	7,50
CaO+MgO	5,35	5,50	6,30	6,95	5,70	5,75	5,78	6,20
Na ₂ O+K ₂ O	2,95	2,60	3,00	3,80	2,70	2,25	2,50	2,90
$\Sigma_{\text{акт}}$	14,80	15,30	17,30	19,25	15,10	15,25	15,62	16,60
SiO ₂	43,5	43,9	43,6	43,0	44,6	45,8	46,5	47,5
Al ₂ O ₃	37,7	37,1	35,1	34,4	36,0	35,1	34,4	32,6
TiO ₂	2,10	1,60	1,65	1,55	2,30	1,95	1,76	1,70
$\Sigma_{\text{неак}}$	83,30	82,6	80,95	78,95	82,9	82,85	82,66	81,80
m	0,177	0,185	0,214	0,244	0,182	0,184	0,189	0,203
Реакційна здатність коксу при 1000 °С, с ⁻¹	0,192	1,020	2,240	3,550	0,202	0,501	1,190	1,745

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

Отже, реакційна здатність коксу, отриманого з вугілля однієї природи, залежить від характеру мінеральних домішок, що містяться в золі коксу, а не від величини зольності. Цей висновок, який має важливе практичне значення з точки зору регулювання якості металургійного коксу, дає можливість обґрунтовано підходити до підбору і підготовки сировини для коксування, що дозволить одержувати кокс з необхідними експлуатаційними властивостями [18].

Аналізуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що для отримання доменного коксу з високими якісними показниками по CRI і CSR

необхідне в першу чергу високоякісне коксове вугілля. У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксового вугілля в Україні, необхідно вводити в шихту солі бору. Це дозволить знизити показник CRI до 26 % від фактичного 44,1 %.

2.3 Розробка технології отримання коксу з низьким показником CRI

Для отримання доменного коксу з високими якісними показниками по CRI і CSR необхідно, в першу чергу, високоякісне коксове вугілля. Сировинна база України вкрай бідна коксовим вугіллям, що добре коксується, відповідно отримання коксу, який задовольняв би світовим стандартам, стає проблемою номер один у металургійному виробництві. В даний час сировинна база коксування металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» представлена іноземними вугільними концентратами зі зростаючою пайовою участю газового вугілля. У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксового вугілля на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для збереження обсягу виробництва та якості коксу необхідно застосування нових методів, які дозволять поліпшити якість коксу за показниками CSR та CRI. У виробництві коксу поліпшення його якості, в основному, досягають за допомогою способів, заснованих на підготовці вугільної шихти для коксування шляхом варіювання її марочного складу, трамбування, брикетування, термообробки й обробки різними органічними та неорганічними добавками тощо. Проте ефективність таких технологій незадовільна через обмеженість вибору марок вугілля, залежність показника міцності коксу від якості застосовуваної шихти, незадовільне співвідношення реактивності та міцності одержаного коксу і та ін. Більш ефективною в цьому сенсі є технологія поліпшення показників CSR та CRI шляхом хімічної обробки готового коксу, а саме нанесенням на шматки коксу неорганічної сполуки за допомогою розпилювання. В якості неорганічної сполуки для нанесення на кокс застосовують борну кислоту або борати. При цьому

відбувається деактивація коксу стосовно реакції з киснем (Og) і вуглекислим газом (CO₂) за рахунок утворення захисної плівки з розплавлених боратів на поверхні кусків коксу. Спосіб обробки реалізують наступним чином. Після вивантаження з коксової печі, гасіння та сортування шматки доменного коксу, які мають температуру 20-50°C, обробляють розбризкуванням 2-20 %-ного водного розчину борату, вибраного з ряду: тетраборат натрію, тетраборат калію, тетраборат кальцію. Водний розчин тетраборату необхідної концентрації для обробки коксу готують простим змішуванням розрахованих маси тетраборату та об'єму води в технологічній ємності. Для обробки застосовують такий об'єм приготованого розчину, щоб кількість сухого тетраборату в коксі відповідала 0,05-0,50 % (мас.) у перерахунку на кокс. При використанні борату в кількості меншій, ніж 0,05 % (мас.) спостерігається недостатнє поліпшення показників CSR і CRI, бо, очевидно, цієї кількості борату недостатньо для створення захисного шару по всій поверхні шматка коксу. Використання борату в кількості більшій, ніж 0,50 % (мас.) технологічно й економічно недоцільне. Розчин тетраборату натрію на поверхню шматків коксу наносять шляхом розбризкування розрахованої кількості розчину через форсунки з використанням насосу. За пропонованим способом обробки коксу захисний шар коксу з розплавленого борату утворюється безпосередньо у доменній печі по мірі опускання шматків обробленого розчином борату коксу та підвищення температури (відповідно до технологічних умов доменної виплавки чавуна). При використанні для обробки коксу водного розчину створюється можливість повного і рівномірного покриття поверхні шматка коксу боратом, а також можливість проникнення молекул борату в пори та тріщини коксу, тобто глибше проникати в речовину шматка коксу. Це дозволяє при розплавленні борату формувати на шматку коксу товстий захисний шар, який надійно перешкоджає проникненню і впливу окисних газів на речовину коксу. Використання 2-20 %-ного водного розчину борату при 20-50 °C безпечно для навколишнього середовища та здоров'я обслуговуючого персоналу.

Отже, використання запропонованого способу дозволяє:

- підвищити міцність коксу після реакції (CSR) на 10-20 %;
- знизити індекс реактивності (CRI) на 6,5-13 %;
- підвищити економічність процесу за рахунок спрощення стадії обробки коксу неорганічною добавкою, що не вимагає високих температур для одержання захисної плівки;
- підвищити економічність процесу виплавки чавуну за рахунок використання більш якісного коксу за показниками CSR і CRI, що дозволить більш істотно знизити витрату коксу та знизити собівартість чавуну.

Обробка коксу водними розчинами боратів дозволить одержувати кокс, що відповідає міжнародним стандартам за якісними характеристиками CSR>55-70 % та CRI<30-22 % з неякісних коксів і відповідно розширити сировинну базу коксування [39]. Враховуючи вищевикладене, у даній дипломній роботі пропонується запровадити на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності CRI за рахунок обробки коксу водним розчином борату. Технологія не вимагає значних капіталовкладень на складне апаратурне оформлення і заслуговує на особливу увагу через свою дешевизну і простоту методу.

2.4 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища

Охорона праці має державне значення і ставить своїм завданням повну ліквідацію виробничого травматизму і професійних захворювань. Правильна організація праці та заходи промислової санітарії зберігають здоров'я трудящих і підвищують продуктивність праці. Умови праці та заходи щодо її охорони регламентуються Кодексом законів про працю (КЗпП), що зобов'язує адміністрацію підприємств і установ забезпечити належне технічне обладнання всіх робочих місць і створити на них умови для безпечної роботи.

У цьому розділі було розглянуто: характеристику шкідливих і небезпечних чинників у вуглепідготовчому цеху, а також заходи щодо їх зниження, засоби індивідуального захисту, пожежну безпеку.

2.4.1 Небезпечні фактори в умовах вуглепідготовчого цеху

Характерними шкідливими і небезпечними факторами під час дроблення і транспортування вугільних концентратів у вуглепідготовчому цеху є: пиловиділення і шум.

Фізико-хімічний склад пилу цехів дроблення різноманітний і залежить, головним чином, від джерела виникнення. Властивості пилу залежать від його кількості в повітряному середовищі та від розміру частинок. Дисперсність пилу визначає можливість і глибину проникнення в дихальний тракт, відповідно, ступінь його шкідливості.

Помел вугільних концентратів супроводжується значним пиловиділенням, тому створюється висока запиленість $6,21 \text{ мг/м}^3$.

Транспортування подрібнених матеріалів здійснюється за допомогою самопливного та конвеєрного транспорту з наявністю вузлів перевантаження з одного виду обладнання на інший, що супроводжується інтенсивним пиловиділенням у цих місцях. Застосування в місцях пиловиділення сучасних укриттів не завжди дозволяє повністю запобігти винесенню пилу у виробничі приміщення. Запиленість тут досягає величини санітарних норм 2 мг/м^3 . Така запиленість не викликає хворобливих змін органів дихання. Дроблення і транспортування матеріалу супроводжується не тільки великим пиловиділенням, а ще шумом, вібрацією. Вміст шкідливих і небезпечних факторів в умовах вуглепідготовчого цеху наведено у таблиці 2.6.

На загальний стан людини впливає освітлення. Залежність на рис. 2.6, явно демонструє, що максимальній продуктивності праці відповідає оптимальна освітленість. З'ясовано, що збільшення освітленості від 100 до

1000 лк за напруженої роботи зору збільшує продуктивність на 10-20 %, зменшує брак на 20 % і знижує кількість нещасних випадків на 30 %.

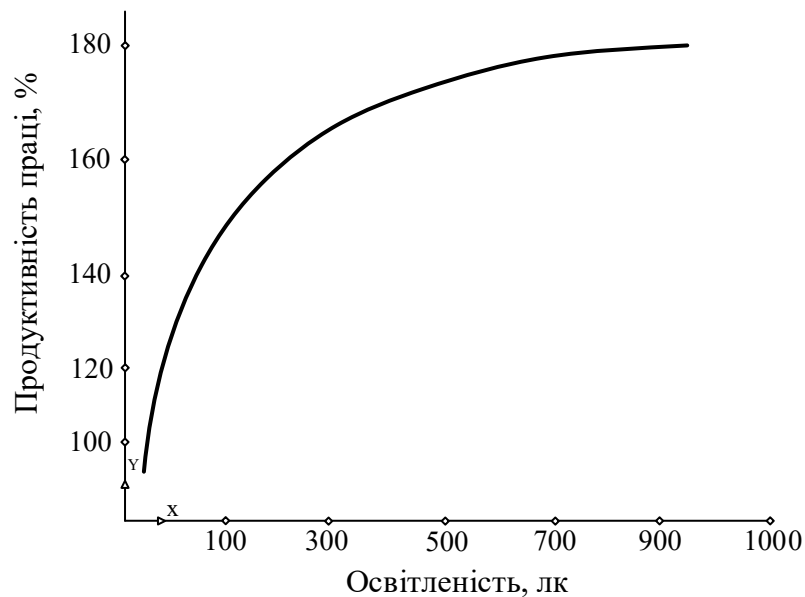


Рис 2.6. Залежність продуктивності праці від освітленості

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [42]

Таблиця 2.6

**Вміст шкідливих і небезпечних факторів в умовах
вугледіготовочого цеху**

№ п/п	<u>Фактори виробничого середовища</u>	<u>Нормат. значення</u>	<u>Фактич. значення</u>
1.	Пил, мг/м ³	2,0	6,21
2.	Шум, дБ	80	94
3.	Температура повітря, °С	18-25	20
4.	Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,2
5.	Відносна вологість, %	До 75	72

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [42]

За недостатнього або слабкого освітлення орган зору пристосовується, що можливо завдяки здатності очей до акомодатії та адаптації. Фактична освітленість становить 50 лк.

Норма освітленості для території та майданчиків на складі 150 лк.

Невід'ємною частиною основного та допоміжного обладнання, у складі, є електричні машини та інші поглиначі електроенергії. Ураження електричним струмом відбувається, як правило, під час контакту людини з незаізованими частинами електрообладнання.

Опір людського тіла стабільний і становить 1000 Ом. Тривалість проходження струму через тіло людини впливає на тяжкість ураження струмом, але оцінка цього фактора важка. Індивідуальні особливості людини значно впливають на результат ураження при електротравмах. Для жінок порогові значення струму приблизно в 1,5 рази нижчі, ніж для чоловіків. У стані збудження нервової системи, депресії, хвороби (особливо хвороби шкіри, серцево-судинної системи) і сп'яніння люди сприйнятливіші до проходження струму.

Істотне значення для складу мають метеорологічні умови. Метеорологічні умови в складі визначаються температурою, вологістю і рухливістю повітря.

У холодний період року оптимальна відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях повинна становити 40-60 % і не перевищувати 80%. У теплу пору року за температури повітря у виробничих приміщеннях 17-25 °C оптимальна відносна вологість повітря також має становити 40-60%. За більш високої температури повітря допускається менша відносна вологість.

Рухливість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях цеху оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною 0,2-0,3 м/с. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3-1,5 м/с. Проблему створення нормальних метеорологічних умов праці на складі потрібно розв'язувати в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень з аерації, застосування припливно-обдувної вентиляції та кондиціонування повітря.

2.4.2 Заходи щодо зниження шкідливих і небезпечних факторів

Нормальний температурний режим у всіх приміщеннях цеху створюється за рахунок природної вентиляції в літній період і штучної - взимку. Приплив повітря в будівлю природний через вікна, що відчиняються, і штучний - повітропроводами від центральної системи повітропостачання.

Найефективнішим заходом у боротьбі із запиленістю є розпилення води. Вода осаджує зважені в повітрі пилоподібні речовини і знижує тим самим запиленість повітря. Для зниження рівня шуму і вібрації, що створюються вентиляційними пристроями, передбачено влаштування шумопоглинаючих вставок у повітропроводах і встановлення вентиляторів на вібропідставах.

Для профілактики ураження електричним струмом усе електричне обладнання складу заземлено. Розетки, призначені для підключення переносних ламп, під'єднані до напруги 36в. На електричних шафах, розподільних щитах - попереджувальні написи.

Усі рухомі частини машин огорожені. Для зручного і безпечного обслуговування агрегатів, розташованих на висоті понад два метри, передбачено влаштування майданчиків зі сходами і поручнями.

Освітлення виробничих приміщень змішане - природне та штучне. Природне освітлення забезпечується за допомогою віконних прорізів, а штучне за допомогою ламп ДРЛ-700 (ртутні дугові високого тиску).

Найменша освітленість робочих приміщень і територій, які потребують обслуговування в аварійному режимі, досягає 5% робочого освітлення, але не менше 4 лк у середині будівлі і 2 лк - для території. Евакуаційне освітлення забезпечує найменшу освітленість на землі та на сходах, у приміщенні 1 лк, а на відкритих територіях - 0.5 лк.

Засоби індивідуального захисту.

Засоби індивідуального захисту поділяються на:

- засоби захисту органів дихання від шкідливих речовин (респіратори, маски від пилу типу пелюстка);
- спеціальний одяг (костюми х/б, куртки суконні та ін.) призначений для захисту тіла людини від механічних факторів зовнішнього середовища;
- спеціальне взуття, призначене для захисту ніг людини від механічних пошкоджень.
- засоби захисту рук від механічних впливів (різні види рукавів);
- засоби захисту голови від механічних пошкоджень (каска),
- засоби захисту органів слуху від шуму (протишумні навушники і шоломи, заглушки і беруші).

Згідно з «Типовими галузевими нормами безоплатної видачі спецодягу, спецвзуття та запобіжних пристосувань» працівникам видаються засоби індивідуального захисту.

2.4.3 Пожежна безпека

Усі виробничі та допоміжні будівлі, споруди повинні відповідати державному стандарту ДСТУ ГОСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги", Правилам пожежної безпеки для підприємств гірничо-збагачувального комплексу (ППБО-136-86) і бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Пожежонебезпека цеху згідно зі СНиП II-М.2.-72 належить до категорії Д.

Поширеними джерелами загоряння у цеху є:

- 1) мастильні ділянки та склад мастильних матеріалів;
- 2) електропроводка та електродвигуни.

Увесь пожежний інвентар і первинні засоби пожежогасіння необхідно утримувати в справному стані та розміщувати на видних місцях із забезпеченням безперешкодного доступу.

Для евакуації людей під час пожеж із приміщень розробляється план евакуації, на якому зазначаються:

- шлях руху евакуації;
- місця встановлення телефонів, вогнегасників, пожежних кранів.

Цей план вивіщується на видному місці.

Для запобігання пожежам необхідне здійснення проведення періодичного навчання персоналу з питань пожежної безпеки відповідно до встановлених нормативів.

Пожежні щити встановлюються з розрахунку один щит на площу 500 м. У комплект щита входить: три вогнегасники, ящик із піском (об'ємом не менше ніж 0,1 м), покривало з вогнетривкого теплоізоляційного матеріалу розміром 2м x 2м, три гаки, три лопати, дві сокири.

Будівля цеху (складу) забезпечується вогнегасниками з розрахунку один вогнегасник на площу цеху не менше ніж 200 м, відром (об'ємом не менше ніж 0,008 м), ящиком з піском. На кожен пожежонебезпечний агрегат - три вогнегасники. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 70 метрів - для приміщень категорії Д. Застосовано вогнегасники типів ОВП, ОУ.

Виробничу та допоміжну будівлі пропонується обладнати пристроєм для блискавкозахисту.

Будівля цеху оснащена пожежною сигналізацією з виведенням інформації на центральний пульт ГПУ.

Передбачено евакуаційні виходи, призначення яких - забезпечити безпечну евакуацію людей, що перебувають у будівлі, на випадок виникнення пожежі або аварії.

Проїзди, в'їзди у відділення фабрики та інші дороги виробничого призначення призначені для евакуації людей автомобільним транспортом. Проїзд пожежних автомобілів забезпечено не менше ніж із двох боків будівлі, уздовж усієї її довжини, шириною від 6 м. Відстань від краю проїжджої частини вільної спланованої території до стін будівлі не більше 25 м. Сплановані території для проїзду пожежних автомобілів утримують у чистоті, не захаращують сторонніми предметами, мають поверхневий

водопровід, а в разі глинистих і пілоподібних ґрунтів засіяні травою або засипані шлаком.

2.4.4 Охорона навколишнього середовища

Викиди промислових підприємств, енергетичних систем, транспорту в атмосферу, водойми та надра досягли таких розмірів, що в низці районів земної кулі рівні забруднення значно перевищують допустимі санітарні норми. Це призводить, особливо серед міського населення, до збільшення кількості людей, які хворіють на хронічний бронхіт, астму, ішемію, рак.

Раціональне розв'язання екологічних проблем можливе лише за оптимальної взаємодії природи і суспільства, що забезпечує, з одного боку, подальший розвиток суспільства, з іншого - збереження і підтримання відновлювальних сил у природі, чого можна досягти лише в разі проведення широкого комплексу практичних заходів і наукових досліджень з охорони навколишнього середовища. Необхідність охорони довкілля відображена в Основному Законі нашої держави. У Конституції України записано, що в інтересах теперішнього і майбутніх поколінь в Україні вживають необхідних заходів для охорони і науково-обґрунтованого, раціонального використання землі та її надр, водних ресурсів, рослинного і тваринного світу, для збереження в чистоті повітря та води, забезпечення відтворення природних багатств та поліпшення довкілля, що оточує людину.

2.5 Висновки по основній частині роботи

1. Вугільна сировинна база України дозволяє отримувати кокс з необхідними показниками реакційної здатності CRI і післяреакційної міцності CSR в обсязі всього лише 3,8-4,0 млн.т. Для отримання такого коксу можна використовувати вугілля тільки трьох шахт України: «Южнодонецька №3» (марка Г); «ім. Скочинського» (марка Ж);

«Червоноармійська Західна №1» (марка К). Внаслідок цього необхідно надавати особливого значення технологічним чинникам, що дозволяють підвищити високотемпературні властивості коксу.

2. Інтенсифікацію процесів коксохімічного виробництва, поліпшення якості коксу, в тому числі і за показниками CSR та CRI, коксохіміки, як правило, здійснюють за допомогою вдосконалення підготовки вугільної шихти для коксування і варіювання технологічними факторами виробництва:

- підбором диференційованого складу шихти з урахуванням марочного і петрографічного складу (вмісту) вугілля;
- вибіркоким подрібненням вугілля перед коксуванням;
- глибоким сушінням і попередньою підготовкою вугілля – трамбуванням;
- брикетуванням частини вугільної шихти;
- обробкою шихти різними органічними і неорганічними добавками, введенням у шихту відходів гуми, пластику, швидкістю нагрівання, варіюванням кінцевої температури коксування та ін.

3. Вивчення особливостей роботи доменних печей на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при зміні показника реакційної здатності коксу в діапазоні від 31 до 43 % показало, що при інтенсивності плавки 850-900 кг/(м³-добу) і більше зменшення показника CRI на 1 % призводить до зниження середньої питомої витрати коксу на 0,83 %, а продуктивність печі може зрости на 0,72 %.

4. Для отримання металургійного коксу високої якості (CRI<55 %, CSR>55 %) однією з вимог до шихти представляється значення індексу основності золи $I_o < 2,5$.

5. Підвищений вміст сірки, сполук заліза різко підвищує реакційну здатність коксу з одночасним зниженням його «гарячої» міцності (CSR). Негативно впливає на CRI і CSR підвищений вміст в коксі лужних елементів: натрію і калію, сполук кальцію і магнію.

6. Склад золи відносять до числа чинників, що впливають (іноді визначальним чином) на показники CSR та CRI коксу. Кількісним виразом параметра оптимізації басейнового, марочного і компонентного складів шихти для отримання коксу високої якості за цими показниками у багатьох випадках служить індекс основності золи (I_0).

7. Зниження реакційної здатності коксу було зафіксовано при внесенні у вугільну шихту невеликих кількостей солей бору. Особливий інтерес для отримання доменного коксу можуть представляти такі сполуки бору, як ортоборна кислота H_3BO_3 і солі борної кислоти - борати, найбільш важливим і доступним з'єднанням з яких є тетраборат натрію $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ і $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$.

8. На зміну реакційної здатності коксу по відношенню до CO_2 істотно впливають як мінеральні домішки, що містяться у вихідному вугіллі і які перейшли в кокс у процесі його коксування, так і штучно внесені у вугільну шихту. Найбільшу інгібуючу здатність мають сполуки бору, найбільшу активуючу - сполуки лужних металів.

9. Реакційна здатність коксу і його питомий електроопір при зменшенні зольності коксу знижуються.

Із зростанням кількості активуючих оксидів у золі коксу ($Na_2O + K_2O$, $CaO + MgO$, Fe_2O_3) і убутанням оксидів, що гальмують реакцію $C + CO_2$ (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 і P_2O_5), реакційна здатність коксу підвищується..

10. У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксового вугілля на КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для збереження обсягу виробництва та якості коксу рекомендується застосувати технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності CRI за рахунок обробки коксу водним розчином борату. Пропонується встановити установку для зрошування коксу боратами. Технологія не вимагає значних капіталовкладень на складне апаратурне оформлення і заслуговує на особливу увагу через свою дешевизну і простоту методу. Крім того, це дозволить знизити показник реакційної здатності коксу CRI, що призведе до підвищення продуктивності

доменних печей доменного цеху №1 і зниження витрат коксу. Фактичне значення показника CRI, що вироблявся на КХВ ПАТ «АрселоМіттал Кривий Ріг» в 2011 році становило 38,8 %. Після впровадження даної технології по зрошуванню коксу солями бору можливо досягти значення показника CRI = 32 %. Зниження показника реакційної здатності становитиме: $\Delta CRI = 38,8 - 32 = 6,8$ %. Зниження показника CRI на кожен 1 % призводить до зниження витрат коксу в доменній плавці на 0,83 % і збільшує продуктивність доменної печі на 0,72 %.

ВИСНОВКИ

1. Ефективність всіх технологічних функцій коксу в доменному процесі більшою чи меншою мірою пов'язана з його реакційною здатністю, яку більшість доменників розглядають як «інтегральний показник якості коксу».

Реакційна здатність коксу істотно впливає на роботу доменної печі, особливо на температуру і газові профілі.

2. Реакційну здатність металургійного коксу розглядають як один з основних показників якості при використанні коксу в доменному виробництві. Збільшення реакційної здатності призводить, з одного боку, до підвищеної витрати коксу, з іншого, - до зниження його міцності в умовах доменної печі, що сприяє подрібненню кусків і знижує газопроникність завантаження. Тому підвищення реакційної здатності коксу супроводжується зниженням продуктивності доменної печі і збільшенням питомої витрати коксу.

3. Для доменної плавки потрібен кокс з такими показниками якості: реакційна здатність (CRI) - 25-30 %, а післяреакційна міцність (CSR) 60-75 %.

4. Фізико-хімічні властивості коксу, основною характеристикою яких є його реакційна здатність за відношенням до CO_2 , залежать від багатьох факторів, насамперед, від властивостей вихідного вугілля. На показники «гарячої» міцності (CSR) і реакційної здатності (CRI) доменного коксу значний вплив здійснюють марочний склад вугільної шихти, спіклівість її компонентів. Кращі показники CSR (67,6-68,7 %) і CRI (27,3-27,5 %) отримані при оптимальному вмісті вугілля 66,1 % спікливих і марок, що утворюють кокс, та показниках спіклівості $y = 15,1-15,2$ мм і виходу летючих речовин $V^{daf} = 25,1$ %.

5. Інтенсифікацію коксохімічного виробництва, поліпшення якості коксу, в тому числі і за показниками CSR та CRI, коксохіміки здійснюють за допомогою вдосконалення підготовки вугільної шихти для коксування і шляхом варіювання технологічних факторів виробництва: підбором

диференційованого складу шихти з урахуванням марочного і петрографічного складу вугілля, виборчим подрібненням вугілля перед коксуванням, глибоким сушінням і попередньою підготовкою вугілля, трамбуванням, брикетування частини вугільної шихти, обробкою шихти різними органічними та неорганічними добавками, введенням у шихту відходів гуми, пластику, швидкістю нагрівання, варіюванням кінцевої температури коксування та ін.

6. Склад золи відносять до числа чинників, що впливають (іноді визначальним чином) на показники CSR та CRI коксу. Кількісним виразом параметру оптимізації басейнового, марочного і компонентного складів шихти для отримання коксу високої якості за цими показниками у багатьох випадках служить індекс основності золи (I_0).

7. Для отримання металургійного коксу високої якості ($CRI < 30\%$; $CSR > 60\%$) однією з вимог до шихти представляється значення індексу основності золи $I_0 < 2,5$.

8. Зниження реакційної здатності коксу було зафіксовано при внесенні у вугільну шихту невеликих кількостей солей бору. Особливий інтерес для отримання доменного коксу можуть представляти такі сполуки бору, як ортоборна кислота H_3BO_3 і солі борної кислоти - борати, найбільш важливим і доступним з'єднанням з яких є тетраборат натрію $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ й $Na_2B_4O_7 - 5H_2O$ (бура).

9. У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксового вугілля на КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для збереження обсягу виробництва та якості коксу рекомендується застосувати технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності CRI за рахунок обробки коксу водним розчином борату. Технологія не вимагає значних капіталовкладень на складне апаратурне оформлення і заслуговує на особливу увагу через свою дешевизну і простоту методу.

10. В результаті впровадження на КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг» технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності

приведе до зменшення витрат коксу в доменному процесі та підвищення продуктивності доменної печі. При зменшенні показника CRI на 1% середня питома витрата коксу буде зменшуватися на 0,83 %, а продуктивність печі збільшуватись на 0,72%.

11. Після впровадження на КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг» технології зрошування коксу солями бору його витрати в доменному процесі зменшаться на 26,8 кг/т чавуну, а продуктивності доменної печі збільшиться на 4,89 %.

В розділі випускної роботи «Охорона праці» розглянуті основні шкідливі й небезпечні фактори діючі в умовах коксового цеху. Запропоновані заходи щодо зниження рівня цих факторів. Узагальнені питання пожежної профілактики.


СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балон І.Д. Доменним печам - кокс високої якості. *Кокс і хімія*. 1972. № 4. С.7-11.
2. Іванов Є.Б., Мучник Д.А. Технологія виробництва коксу. Видавниче об'єднання «Вища школа» 1976, 232 с.
3. Broz L., Splichal ВУ/Hutnicke Listu. -1977.-№ 4.- S 241-246.
4. Камелєв Р.Д., Нікітенко В.Н., Дишлевич Н.І. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 1986. № 1. С 5.
5. Беляков В.Н., Плужников А.І., Власова З.А., Горобцов В.М. Вплив реакційної здатності коксу на техніко-економічні показники доменних печей. *Кокс і хімія*. 1992. № 9. С 22-25.
6. Гольдштейн Н.Л., Златоустовський Д.М., Зверєва Н.Н. Реакційна здатність коксу в доменній печі. *Сталь*. 1975. № 11. С. 10-12.
7. Ухмилова Г.С. Вимоги європейських доменників до якості коксу. *Кокс і хімія*. 2001. № 4. С. 24-26.
8. Кацман В.Х., Симонов А.О. Дослідження поведінки коксу в доменній печі. *Кокс і хімія*. 1985. № 10. С. 16-18.
9. Вейнський В.В., Барський В.Д. Вплив складу пластичної маси вугілля на реакційну здатність коксу. *Кокс і хімія*. 1989. № 10. С. 14.
10. Мірошниченко Д.В., Улановський М.Л. Реакційна здатність коксу: способи вимірювання та фактори впливу (Огляд). *Кокс і хімія*. 2004. № 5. С. 21-29.
11. Курунов І.Ф. Якість коксу, його поведінка в доменній печі та вплив на її роботу. ВАТ «Черметинформація». 2003. С. 8.
12. Ухмилова Г.С. Проблеми виробництва високоякісного коксу для доменних печей. ВАТ «Черметинформація». 2004. С. 8-12.
13. Гайнієва Г.Р., Наймарк М.М., Завалішин Д.А. Марковий склад вугільної шихти. Його вплив на реакційну здатність доменного коксу. *Кокс і хімія*. 2005. №11. С. 10-12.
14. Гордієнко А.І., Давидзон А.Р., Чаленко В.І. Вплив ступеня метаморфізму

- вугілля на якість коксу за показниками CRI і CSR. *Кокс і хімія*. 2007. №5. С. 10-16.
15. Золотухін Ю.А., Станкевич А.С. Вплив петрографічного складу вугільних шихт на реакційну здатність коксу. *Кокс і хімія*. 1981. №10. С. 26-28.
16. Симонова В.В., Щедрик Т.Г. Мінеральні компоненти «солоних вугілля». ХГГ.1995. № 6. С. 81-87.
17. Вейнський В.В., Барський В.Д. Залежність реакційної здатності коксу від величини зольності і складу золи. *Кокс і хімія*. 1990. №12. С. 9-12.
18. Метревелі О.А, Шейхет А.М., Пеліхова А.Б. Дослідження впливу хімічного складу золи коксу на його витрату в процесі доменної плавки. *Кокс і хімія*. 1987 №7. С. 25-27.
19. Барський В.Д., Вейнський В.В., Михайлов Г.В. Руйнування металургійного коксу під впливом хімічного складу золи вугілля. *Кокс і хімія*. 2002. № 10. С. 42-43.
20. Міхно С.І., Кулясова С.В., Бойко В.М. Про хімічний склад мінеральної частини вугілля, шихти та коксу. *Кокс і хімія*. 1992. № 7, С.6-8.
- 21.21. Арцер А.С., Венц В.А. Прогноз високотемпературних властивостей коксу. *Кокс і хімія*. 2001. № 11. С. 13-19.
22. Кацман В.Х., Симонов А.О. Дослідження поведінки сірки коксу в доменній печі. *Кокс і хімія*. 1985. № 2. С. 16-18.
23. Васильєв Ю.С, Улановський М.Л., Цебрій Л.С. та ін. Про одне з джерел лужних металів у доменному коксі. *Кокс і хімія*. 1990. № 10. С. 12-15.
24. Мірошниченко Д.В. Вплив технологічних факторів підготовки та коксування вугілля на реакційну здатність коксу. *Кокс і хімія*. 2009. № 2. С.37-42.
25. Скляр М.Г., Данг В.Х., Каширська А.П. Про можливість регулювання реакційної здатності коксу. *Кокс і хімія*. 1985. № 10. С. 13-17.
26. Унтербергер О.Г., Глянченко В.Д., Страхов М.М. та ін. Реакційна здатність коксу. *Кокс і хімія*. 1999. № 4. С. 14-18.
27. Базегський А.Є., Школлер М.Б., Авцинов А.Ф. Післяреакційна міцність

- коксу з кузнецького вугілля. *Кокс і хімія*. 1996. № 4. С. 21-22.
28. Скляр М.Г., Слободський С.А., Данг В.Х., Гамазіна Г.А. Оптична текстура і реакційна здатність коксу. *Кокс і хімія*. 1988. № 3. С. 9-10.
29. Браун Н.В., Глущенко І.М., Маховська В.А. Оцінка якості коксу. *Кокс і хімія*. 1988. № 8. С. 28-31.
30. Старовойт АГ. Перспективи отримання коксу високої якості в умовах сучасної сировинної бази. *Чорна металургія*. 2008. Вип.3 (1299). С. 17-21.
31. Булаєвський Б.Х., Швед В.С. Про можливість впливу на показники CRI і CSR коксу. *Кокс і хімія*. 2010. № 1. С. 16-21.
32. Дослідження впливу реакційної здатності, міцності та стирання коксу на показники роботи доменних печей. Лялюк В.П., Шеремет В.А., Тараканов А.К., Кекух А.В., Листопадов В.С., Огорвін П.І., Касім Д.А. *Чорна металургія*. 2010. № 8. С. 14-21.
33. Кафтан Ю.С., Шульга І.В., Міненко Є.В. та ін. Властивості коксу з вугільних шихт з різними добавками. *Кокс і хімія*. 2000. № 6. С. 13-19.
34. Єгоров В.М., Сорокін Є.Л. Утилізація червоних шлаків у коксохімічній промисловості. *Вуглехімічний журнал*. 2004. № 5/6. С.47-48.
35. Довідник коксохіміка. Т. 1. Щелкова А.К. М.: Металургія. 1961. С. 40-42.
36. Скляр МГ. Фізико-хімічні основи спікання вугілля. Металургія, 1984. 200 с.
37. Щукін П.А. Дослідження властивостей металургійного коксу. Металургія, 1971. 100 с.

ДОДАТКИ



Дата звіту: 6/3/2025

Дата редагування: ---

Документ прийнятий

Звіт подібності

метадані

Назва організації:
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY


Заголовок:
Карпенко Данило Сергійович

Автор: Науковий керівник / Експерт
Карпенко Данило Сергійович Шмельцер 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.



17.53%
17.53%

КІТ 1



0.77%
0.77%

КІД

25

Довжина фраз для коефіцієнта подібності 2

13437






Кількість слів

98039

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових слотворень. Ці слотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Слотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але час психі 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		28
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		212

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

Порядковий номер	Назва та адреса джерела (URL, назва бази)	Колір тексту
		Відсоток ідентичних слів (фрагментів)
1	https://ee.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/34005/1/%D0%A5%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%B2%20%D0%90.%D0%A1.pdf	84 0.63 %
2	https://ee.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/34005/1/%D0%A5%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%B2%20%D0%90.%D0%A1.pdf	74 0.55 %
3	https://referatu.net.ua/referats/7569/166449	61 0.45 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача вищої освіти

Карпенка Данила Сергійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна робота бакалавра

Тема кваліфікаційної роботи «Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти»

Керівник кваліфікаційної роботи: к.х.н., доцент Кормер М.В.

(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	Кормер М.В.	зараховано	14.05.25	Кормер	
2	Основна частина	Кормер М.В.	зараховано	02.06.25	Кормер	
3						
4						

Завідувач кафедри

(підпис)

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« 16 » 06 2025 р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ
 РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Здобувача вищої освіти Карпенка Данила Сергійовича
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	74 стор.;
таблиць	10;
схем і рисунків	9;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	-.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра:

Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена аналізу технологій отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи. Проаналізовано сучасні підходи до оцінки отримання коксу з низьким показником реакційної здатності. Результати роботи можуть стати основою для впровадження технології виробництва коксу, яка дозволить зменшити його витрату в доменній плавці, збільшити його міцність в умовах доменної печі, збільшити продуктивність доменної печі, знизити показник CRI, знизити собівартість 1 т чавуну.

Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху. Запропоновано технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

До недоліків кваліфікаційної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання,

Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки.

проаналізовано вплив різних факторів на реакційну здатність коксу, а саме вплив марочного складу вугільної шихти; вплив петрографічного складу вугільних шихт і ступеню метаморфізму вугілля; вплив мінеральних компонентів вугілля; вплив умов підготовки вугільної шихти та її коксування

Здобувач Карпенко Д.С. продемонстрував хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення.

Графік виконання роботи дотримувався неухильно

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра _____

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.хім.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Карпенко

(підпис)

« 16 » 06 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Здобувача вищої освіти Карпенка Данила Сергійовича
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти

Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра

Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти

Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему. Робота присвячена розробці технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи. Це робить зменшити витрати коксу і збільшити продуктивність доменної печі. Також робота вкрасі підкорі до оцінки отримання коксу з низьким показником реакційної здатності.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

До недоліків дипломної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.

Рекомендації: робота рекомендована до захисту.

Рецензент

Фесма Наталія Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Фесма
 (підпис)

ДОВІДКА
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

«Дослідження та розробка технології отримання коксу з низьким показником реакційної здатності за рахунок впливу на основність золи вугільної шихти»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Карпенко Данила Сергійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 74 сторінка друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarizm.com».

Рівень оригінальності становить 7,80 % (КП 1)

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 « » травня 2025 р. протокол № .

Керівник підрозділу


(підпис)

К. Шмельцер

Дата « » травня 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, *Карпенко Данило Сергійович*, 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) незгоду до допомоги 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.

Дата *18.06.25 Карпенко Д.С.*

Підпис



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

Я, Карпенко Данило Сергійович, здобувач IV курсу, групи ЗХТ-21 Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

01.05.2025



Д.Карпенко