

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Косенко Єви Олександрівни

на тему Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР»

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

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.25 № 16

Завідувач кафедри Шмельцер К.О.

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

(підпис)

« 8 » червня

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Косенко Єви Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи «Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР»

керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

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 бакалаврської роботи

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

4.1 Аналітична частина: Функції коксу в доменній плавці та сучасні вимоги до його якості. Основні технологічні характеристики вугільної шихти. Лабораторна методика вибору оптимального складу шихт. Аналіз сучасних підходів до оцінки марочного складу вугільної шихти. Основні критерії оцінки марочного складу вугільної шихти.

4.2 Основна частина: Оцінка оптимальності марочного складу вугільних шихт та якості коксу коксохімічних підприємств України. Обґрунтування необхідності виконання рефлектограмного та петрографічного аналізів вугільної шихти. Дослідження марочного складу шихти та якості коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка методики оптимізації марочного складу вугільної шихти для умов роботи КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Вибір і розрахунок основного устаткування вуглепідготовчого цеху.

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

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

Косенко
(підпис)

Косенко Є.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кормер
(підпис)

Кормер М.В.
(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Косенко Є.О. Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР». – Рукопис.

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

Об'єкт дослідження - марочний склад вугільної шихти.

Мета дослідження - оптимізація марочного складу вугільної шихти для умов роботи коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Метод досліджень - використані сучасні методи дослідження, в тому числі методи математичної статистики, літературний та патентний огляд.

Робота присвячена аналізу та теоретичному дослідженню напрямків вдосконалення технології підготовки вугільної шихти до коксування, а саме оптимізації марочного складу вугільної шихти, з метою отримання якісного коксу. Проаналізовано сучасні підходи до оцінки оптимальності марочного складу вугільної шихти за різними критеріями в залежності від існуючої сировинної бази коксування.

Розроблена методика оптимізації марочного складу вугільної шихти з використанням запропонованого показника $K_{opt(Vt)}$, який визначається з урахуванням даних петрографічного аналізу та рефлектограми вітринітової складової вугілля.

Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху. Запропонований показник $K_{opt(Vt)}$, який дозволяє здійснювати як оперативну оцінку оптимальності складу вугільної шихти, так і прогнозувати механічну міцність коксу.

Ключові слова: кокс, вугільна шихта, підготовка вугільної шихти, оптимальний марочний склад, рефлектограмний та петрографічний аналіз.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Технологічні функції коксу в доменній плавці та вимоги до його якості	9
1.2 Основні технологічні характеристики вугільної шихти	18
1.2.1 Показники технічного аналізу	19
1.2.2 Аналіз показників петрографічного складу вугілля	25
1.3 Лабораторна методика вибору оптимального складу шихт	30
1.4 Аналіз сучасних підходів до оцінки марочного складу вугільної шихти	31
1.5 Основні критерії оцінки марочного складу вугільної шихти	33
1.6 Висновки до аналітичної частини	37
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	40
2.1 Оцінка оптимальності марочного складу вугільних шихт та якості коксу коксохімічних підприємств України	40
2.1.1 Дослідження марочного складу вугільної шихти КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” за показником K_{opt}	44
2.2 Обґрунтування необхідності виконання рефлектограмного та петрографічного аналізів вугільної шихти	46
2.2.1 Петрографічний комплекс LUCIA фірми “LECO” для визначення петрографічних характеристик	48
2.3 Дослідження марочного складу шихти та якості коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	53
2.4 Розробка методики оптимізації марочного складу вугільної шихти для умов роботи КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”	57
2.5 Вибір і розрахунок основного устаткування вуглепідготовчого цеху	61
2.5.1 Прийом і розвантаження вугілля	61
2.5.2 Розрахунок вугільного складу	65
2.5.3 Розрахунок устаткування відділення остаточного подрібнення вугілля	65
2.6 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по	

	7
захисту навколишнього середовища	67
2.6.1 Небезпечні фактори в умовах вуглепідготовчого цеху	67
2.6.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у вуглепідготовчого цеху	70
2.6.3 Заходи з пожежної безпеки	71
2.7 Висновки до основної частини	72
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Рівень розвитку коксохімічної промисловості країни є важливим показником її економічної незалежності, тому ця галузь безпосередньо пов'язана з металургійною. В Україні коксохімічне виробництво є однією з провідних галузей її народногосподарського комплексу. Основною продукцією галузі є доменний кокс, що і як технологічне паливо, а як енергетична сировина. Близько 85-90 % виробленого в Україні коксу використовується у виробництві чавуну, тому саме завантаження доменних потужностей визначає попит на кокс.

Одним з центральних завдань коксохімічної промисловості є контроль і підвищення якості доменного коксу, одержуваного при технологічній переробці вугілля.

В даний час, у зв'язку з руйнуванням сформованої сировинної бази, нестабільністю марочного складу вугілля і вугільних концентратів, що поступають на коксохімічні підприємства, питання вдосконалення технології коксохімічного виробництва набувають особливого значення.

«Оптимальний склад» вугільної шихти для коксування - суто конкретне поняття, зміст якого змінюється в часі з урахуванням реальних сировинних ресурсів, технології коксування, пріоритетних вимог металургів до якості доменного коксу.

Правильний вибір складу шихт, використовуваних для виробництва коксу, має важливе практичне значення. Відомо, що від складу шихти і низки інших чинників (ступінь подрібнення, швидкість нагрівання, кінцева температура коксування) залежить міцність одержуваного коксу.

До основних напрямків та способів підвищення якості коксу відносяться оптимізація марочного складу і властивостей вугільної шихти, які визначають фізико-механічні властивості коксу.

У зв'язку з цим актуальності набувають дослідження, спрямовані на визначення та оперативну оцінку оптимальності складу коксованої вугільної шихти, а також на прогнозування механічної міцності коксу за марочним складом вугільної шихти.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічні функції коксу в доменній плавці та вимоги до його якості

Висока якість коксу, який має в доменній печі функції відновника, теплоносія та матеріалу, який забезпечує газопроникність шихти, є важливою умовою стабільної роботи доменних печей. В останні роки важливим є оптимізація доменного процесу шляхом підвищення якості коксу. Також на ряду з основними технологічними функціями коксу в доменному процесі, останнім часом виділяють додаткові дві:

- адсорбент (збирач пилоподібних і газоподібних продуктів у фурменій зоні);
- джерело дріб'язку, що знижує плинність шлаку, а отже і газопроникність стовпа шихтових матеріалів у доменній печі.

Ефективність виконання всіх цих функцій в значній мірі залежить від реакційної здатності коксу, яку більшість доменників розглядає як інтегральний показник його якості, пов'язаний з хімічним складом і фізико-хімічними властивостями [1].

У сучасній практиці властивості коксу характеризуються за допомогою наступних показників:

- хімічні властивості: зольність, вміст сірки, вихід летючих речовин, вологість;
- фізичні властивості: щільність, пористість, питомий електричний опір, теплоємність, теплопровідність;
- фізико-механічні властивості: ситовий склад, насипна щільність, наявність тріщин, форма кусків, міцність (дробимість (M_{25}), старанність (M_{10}), газопроникність;
- фізико-хімічні характеристики: реакційна здатність (CRI), після реакційна міцність (CSR), температура займання, горючість.

Нині відповідно до чинних нормативно-технічних документів використовуються показники, які найбільш повно характеризують сукупність властивостей коксу з технологічної точки зору: зольність, сірчистість, робоча вологість, міцність (M_{25} , M_{10} або M_{40}), масова доля кусків розміром більше 80 мм і менше 25 мм. Усі показники впливають на витрату коксу в доменній печі та прийняті як нормативні. Оскільки кокс є головним джерелом теплової і відновної енергії, важливою вимогою є максимальний вміст в коксі нелеткого вуглецю і низький вміст мінеральних домішок (золи). Вміст $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ в золі коксу досягає 70-80 %, отже зола має кислотний характер.

Визначено, що зольність коксу впливає на вміст вуглецю, вихід і основність доменного шлаку і міцність коксу. Кокс, згоряючи в доменній печі, дає тепло і є джерелом одержання відновника оксидів заліза - CO. При збільшенні вмісту золи в коксі зменшується вміст C, теплота згорання коксу і кількість відновлювальних газів, що утворюються в печі. Визначено, що зниження зольності на 1 % зменшує витрату флюсів на 1,0- 1,5 % і витрати коксу на 1,3-2,5 %; продуктивність доменної печі зростає на 1,3-2,5 %. Кокс з більш зольної шихти має більш високу реакційну здатність і меншу термомеханічну міцність. Вміст золи в коксі не повинен перевищувати 11 %, оскільки висока зольність коксу обумовлює збільшення виходу шлаку і витрати енергії і зниження продуктивності доменної печі. Важливе значення додають вмісту лужних елементів у золі коксу - оксиди калію і натрію. Присутність лугів в коксі підвищує його реакційну здатність і знижує післяреакційну міцність. Луги каталізують реакцію Будуара в доменній печі і знижують температуру реакції газифікації. Вміст лугів лімітується на рівні 0,2-0,3 % [2]. Якщо мінеральні складові коксу є баластом, то сірка, що обов'язково присутня у будь-якому вугіллі й на 80 % переходить в кокс, є найшкідливішим елементом. Сірка переходить у чавун і в сталь, погіршуючи її якість. В результаті досліджень вітчизняних і зарубіжних учених встановлено, що при зниженні вмісту сірки коксу на 0,1 % витрати коксу зменшаться на 0,18-0,71 %. Не менш важливою кількісною характеристикою

якості коксу є вміст у ньому фосфору. Присутність фосфору в коксі збільшує крихкість металу, що з нього виплавляють. Вологість готового коксу, в залежності від режиму гасіння, не повинна перевищувати 5 %. Мінімальну вологість (0,1-0,5 %) отримують при сухому гасінні коксу, коли замість зрошування водою охолодження ведеться в струмі газу. Абсолютні показники вологості коксу в доменному виробництві практичного значення не мають, так як волога випаровується над колошником доменної печі, де бажано знизити температуру. Але вміст води в коксі має бути постійним, так як зміни його відбиваються на вмісті вуглецю в одиниці маси коксу, що може позначитися на тепловому стані доменної печі. Вміст залишкових летючих речовин в коксі залежить від температури і тривалості процесу коксування. Вихід летких речовин в коксі не повинен перевищувати 1,0 %.

Таким чином, на витрати коксу (продуктивність доменної печі) впливають наступні показники його якості:

- зольність; вміст загальної сірки; міцність; старанність; вміст фракції + 80 мм.

Вплив цей здійснюється як безпосередньо через функції, виконувани коксом у доменній печі так і через зміни кількості шлаків і сирого флюсу. У табл.1.1 наведено вплив показників якості коксу на питомі його витрати та продуктивність доменної печі [3].

Таблиця 1.1

Вплив показників якості коксу на його витрати та продуктивність доменної печі

Фактор та одиниця виміру	Витрати коксу, %	Продуктивність доменної печі, %
Зменшення зольності на 1 %	-1,3	+1,3
Зменшення вмісту сірки в коксі на 0,1 %	-0,3	+0,3
Підвищення міцності коксу по показнику M_{25} на 1 %	-0,6	+0,6
Зменшення стиранності коксу по показнику M_{10} на 1 %	-2,8	+2,8
Зменшення вмісту в коксі фракції + 80 мм на 1 %	-0,2	+0,2
Збільшення післяреакційної міцності CSR на 1 %	-0,2	+0,44
Зменшення реакційної здатності CRI на 1 %	-0,4	+0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

За інформацією І.Ф. Курунова за матеріалами 4-го Європейського конгресу з коксохімічного і аглодоменного виробництва вимоги до складу кокс в Європі характеризуються наступними величинами: зола - 8,5-9,5 % (Австрія, Фінляндія і Німеччина), 10-11 % (Бельгія, Франція, Голландія і Англія); сірка - 0,5-0,7 %; луѓи - 0,2-0,3 %; летючі речовини - 0,4-0,5 % (Австрія, Фінляндія і Німеччина); 0,75-1,0 % (у інших країнах); вологість - 1-5 %. У країнах Північної Америки вимоги до хімічного складу коксу наступні, %: зола - < 8,5; летючі - < 1; сірка - < 0,75 [4].

Крупність, форма і рівномірність фракційного складу коксу визначають газопроникність його насипної маси, величину поверхні в одиниці маси, і отже, інтенсивність на поверхні кусків гетерогенних реакцій, що проходять, взаємодії вуглецю коксу з киснем дуття і вуглекислим газом. В залежності від якості вугільної шихти, умов коксування і умов роботи коксортувалень формується певний гранулометричний склад коксу. При цьому кожен клас характеризується певними показниками пористості, тріщинуватості і структурної міцності. При зменшенні розміру коксу структурна міцність його підвищується, а пористість, навпаки, знижується. Таким чином, механічна міцність суміші класів коксу буде залежати від властивостей окремих класів. Висока однорідність коксу досягається звуженням його крупності. 3.1. Некрасов [5] вважав, що нижню межу слід встановити на рівні 25-30 мм, а верхню - на рівні 60 мм. Відхилення ситового складу для класів 60-25 мм не повинні перевищувати: за вмістом кусків >60 мм - більше 10 %; за вмістом кусків 80 мм на показники роботи доменної печі пояснюється наступними причинами: клас >80 мм є найменш міцним в масі доменного коксу; його руйнування супроводжується утворенням великої кількості дріб'язку, присутність класу >80 мм в масі коксу негативно позначається на її газопроникності, і автори рекомендують вивести його з технологічного циклу, передбачивши подальше додроблювання. Скорочення частки фракції коксу >80 мм сприяє економії коксу і збільшенню продуктивності доменної печі на 0,2 %. Утворення великої кількості дрібних фракцій коксу в печі

знижує газопроникність шихти, призводить до порушення процесу дренажу рідких продуктів плавки через коксову насадку, загроздженню горну і горінню повітряних фурм. Все це знижує продуктивність доменної печі, підвищує витрати коксу і погіршує якість виплавленого чавуну. Газопроникність “сухої” частини стовпа шихти, що впливає на питому продуктивність і економічність роботи доменної печі, в значній мірі залежить від гранулометричного складу коксу і його холодної міцності. В якості критеріїв холодної міцності коксу використовують показники M_{25} , M_{10} і M_{40} , які характеризують вихід фракції >25 , >40 . Визначаються за методикою Інституту чорної металургії IRSID (Франція), яка відрізняється величиною механічного впливу на пробу коксу при випробуваннях [3]. На Карагандинському металургійному комбінаті був виконаний аналіз впливу міцності коксу на результати доменної плавки для доменних печей різного об’єму. Проведені дослідження дозволили отримати результати, які свідчать про значний вплив міцності коксу на основні показники доменної плавки на печах різного об’єму: погіршення міцності коксу за показником M_{40} на 1 % призводить до зниження продуктивності доменної печі на 2,2 % і збільшення питомої витрати коксу на 1,5 % [5]. Показник M_{25} має слабкий зв’язок з показниками роботи доменної печі, а між величиною M_{10} і роботою доменної печі зв’язок більш тісний. За даними ДонНДІЧормета [6] збільшення міцності коксу за показником M_{25} на 1 % сприяє економії коксу та підвищенню продуктивності доменної печі на 0,6 %, а зменшення стираності за показником M_{10} на 1 % - економії коксу та підвищення продуктивності на 2,8 %. Показники холодної міцності і стираності коксу, що використовуються в потужних доменних печах металургійних підприємств Європи, таких як Редкар (Великобританія), Таранто (Італія), Швельгерн (Німеччина), Хооговенс (Нідерланди) і Дюнкерк (Франція), наведені в табл. 1.2 [2].

Таблиця 1.2

**Фізико-механічні показники коксу, що використовуються в
доменних печах металургійних підприємств Європи**

Показник	Підприємство				
	Редкат	Таранто	Швельгерн	Хооговенс	Дюнкерк
Середня крупність, мм	54,7	52,2	45,9	51,4	53,2
M_{40} , %	87,1	86,2	83,3	87,8	91,2
M_{10} , %	5,8	6,2	7,2	6,2	5,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2]

В Україні кокс з високими показниками холодної механічної міцності $M_{25} = 89-90$ % і $M_{10} = 5-5,5$ % при вмісті класу - 25 мм 3,5 % виробляють на батареї 10-біс ПАТ “Алчевськкокс”, де застосовуються технології трамбування вугільної шихти і сухого гасіння коксу. Нині отримав широке розповсюдження метод оцінки властивостей коксу фірми NSC (Nippon Steel Corporation), стандартизований пізніше у Великобританії (BS 426261984) та в США (FSTM D 5341-93), за яким визначають реакційну здатність CRI (coke reactivity index) і післяреакційну міцність коксу CSR - показник міцності коксу після реакції з діоксидом вуглецю при 1100 °C (coke strength after reaction) [7]. В Україні - це національний стандарт ДСТУ 4703:2006 “Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR)” (ISO 18894:2006, MOD). Вони характеризують поведінку коксу 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 і так далі. Фірма “Nippon Steel”, як розробник методу визначення післяреакційної міцності коксу (помилковий переклад - гаряча міцність коксу), вказує, що для кожної доменної печі є нижня межа показника CSR, який гарантує стабільність її експлуатації. Для стабільної роботи великих доменних печей значення CSR повинно бути не менше 57,5 %. Збільшення індексу CSR сприяє більш рівному сходу шихтових

матеріалів, підвищенню їх газопроникності і поліпшенню дренажу рідких продуктів плавки в горн печі. Відзначено позитивний вплив зростання гарячої міцності коксу на його питому витрату в доменних печах: збільшення показника CSR на 1 % в діапазоні від 45 до 55 % еквівалентно зниженню витрати коксу на 1,5 кг/т чавуну, а в діапазоні від 54 до 62 % - на 0,8 кг/т чавуну [7]. У лабораторних умовах на ВАТ “Авдіївський коксохімічний завод” було вивчено вплив гранулометричного складу коксу на післяреакційну міцність коксу [8]. Для досліджень використаний металургійний кокс отриманий з шихти однакового складу при постійному технологічному режимі з наступними характеристиками:

- якість шихти : $W^r=8,2$ %, $A^d=8,4$ %, $V^{daf}=728,6$ %, $y=15,0$ мм;
- вміст класу <3 мм = 80 %.
- температура в контрольних опалювальних каналах 1286-1327 °С;
- період коксування =15 годин.

Отримані результати представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3.

Післяреакційна міцність металургійного коксу CSR (%) по класах

Дослід	Післяреакційна міцність металургійного коксу CSR (%) по класах, мм			
	> 80	60-80	40-60	25-40
1	46,9	51,3	56,1	58,7
2	44,4	52,8	58,3	60,7
Середнє	45,7	52,1	57,2	59,7

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

На рис. 1.1 приведена залежність післяреакційної міцності коксу від його гранулометричного складу.

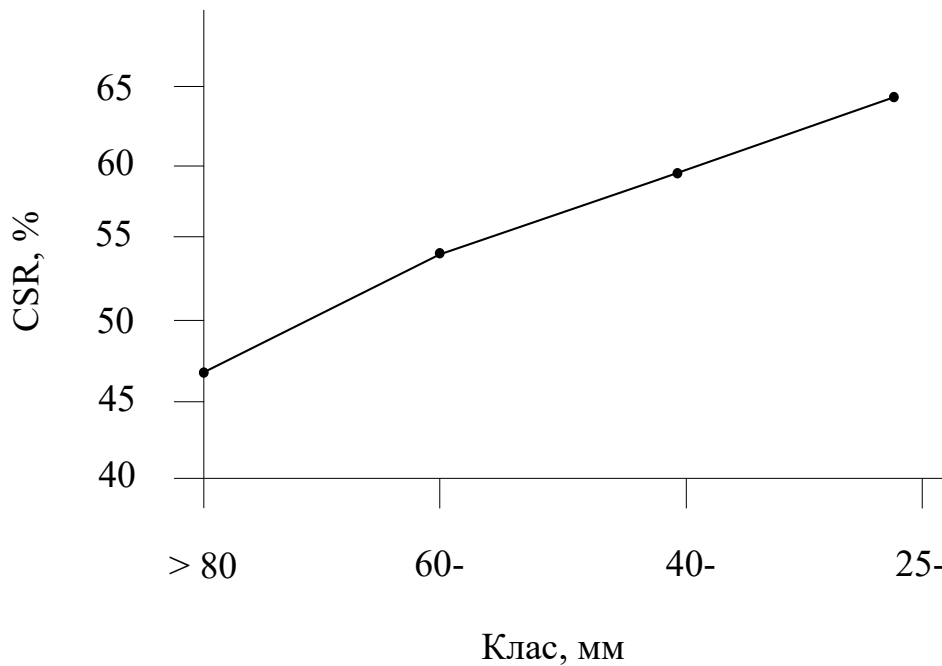


Рис. 1.1. Залежність показника післяреакційної міцності CSR від класу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням джерела [8]

Використання вугілля із низькою основністю золи дозволяє значно підвищити в цілому показник CSR коксу. Навпаки, зниження CSR коксу в основному пов'язане з використанням вугілля з високою основністю золи і низьким виходом летючих речовин [8].

Таким чином, одним з визначальних факторів є неоднорідність шихти, яка визначається природним і хімічним складом золи шихти (коксу). Цей фактор істотно не змінити, але зменшити його вплив на показник CSR можна за рахунок зниження зольності шихти до 6,9-7,5 %. Показники CRI та CSR за кордоном стали найбільш важливими оціночними параметрами якості коксу. Для високої продуктивності печей і зниження витрати відновників показник CSR коксу має бути на рівні $>60\%$, а $CRI < 30\%$.

Встановлено, що показники CRI і CSR зв'язані між собою зворотним лінійним зв'язком (рис. 1.2-1.3), і при аналізі результатів доменної плавки можна використовувати тільки один з цих показників.

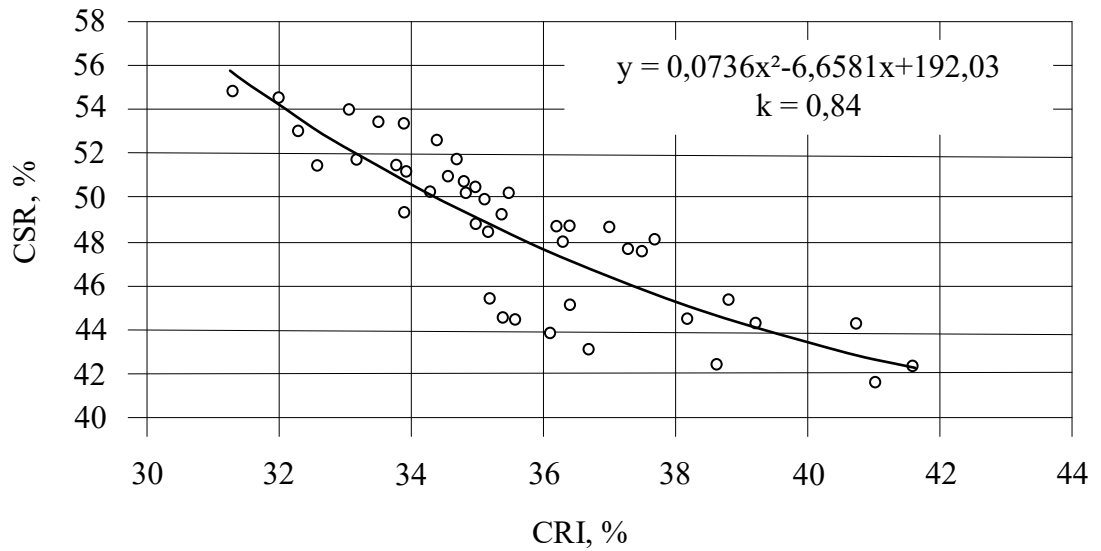


Рис. 1.2. Залежність післяреакційної міцності коксу від зміни реакційної здатності коксу завантаженого в Домену Піч № 9

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

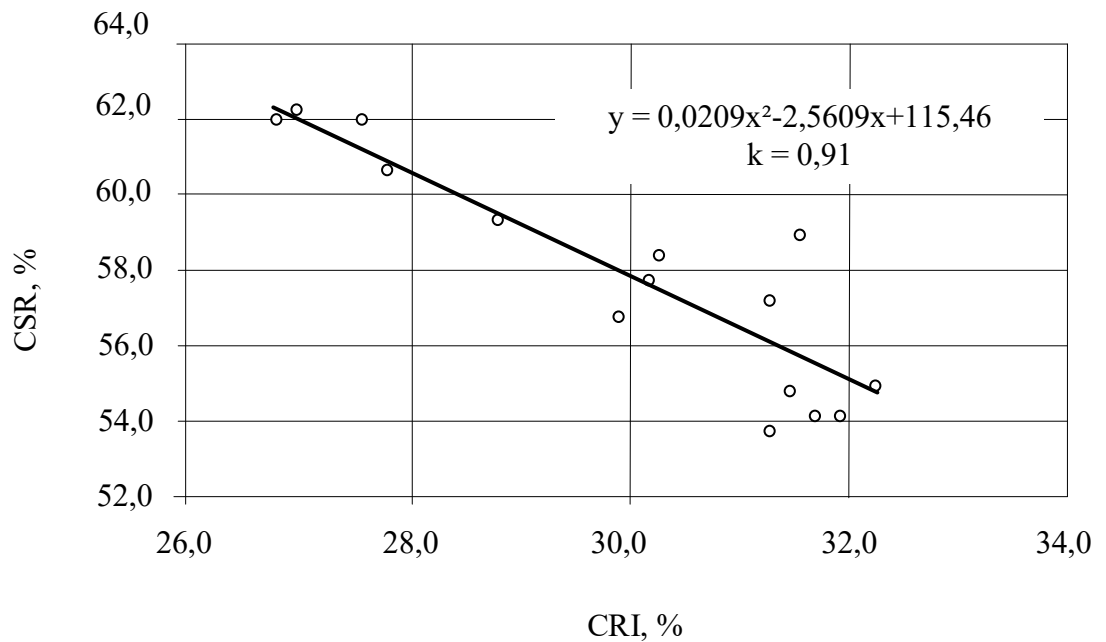


Рис. 1.3. Взаємозв'язок реакційної здатності CRI коксу та його післяреакційної міцності CSR в поставках фірми Polski koks S.A., Польща

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Таким чином, вимоги до властивостей коксу досить обґрунтовані і чітко визначені. Так, якісний кокс, що відповідає сучасним потребам металургів, має відповідати наступним вимогам:

$M_{25} > 90 \%$; $M_{10} < 6 \%$; $CSR > 66 \%$; $CRI < 26 \%$;

$A^d = 6,9-7,5 \%$; $V^{daf} = \text{до } 1 \%$; $S_t^d = 0,5-0,7 \%$;

крупність - максимальний вміст класу 60-40 мм [2].

1.2 Основні технологічні характеристики вугільної шихти

Властивості отриманого коксу залежать від технологічних характеристик вугільної сировини. Вугільна шихта як сировина для коксування повинна володіти комплексом властивостей. До найбільш важливих показників, що характеризують якість вугілля, можна віднести:

1) показники технічного аналізу: вологість, зольність, вихід летких речовин, сірчистість;

2) показники петрографічного складу, що включають вміст окремих петрографічних компонентів та показник відбиття вітриніту;

3) показники, що характеризують ступінь метаморфізму - вміст вуглецю, теплота згоряння, вихід летких речовин.

Вихід летких речовин по мірі розвитку метаморфізму знижується, однак цей показник не можна використовувати при порівнянні твердих горючих копалин на високих стадіях метаморфізму. Тому ефективним параметром для характеристики ступеня метаморфізму є показник відбиття вітриніту - R_o , %.

4) показники, що характеризують хімічну структуру вугілля: елементний склад;

5) показники, що характеризують фізичні властивості: дійсна та уявна густина, пористість, механічна міцність;

б) показники, що характеризують спікливість вугілля, пластометричні показники (усадка - x , мм та товщина пластичного шару - y , мм), індекс Рога, спучення;

7) вихід первинних продуктів термічної деструкції палив (смола, газів, напівкоксу) [10].

1.2.1 Показники технічного аналізу

Технічний аналіз об'єднує визначення основних показників якості вугілля, передбачених вимогами нормативних документів для всіх видів їх використання. До показників якості вугілля належать: вологість, зольність, вміст сірки, вихід летких речовин. Під зольністю зазвичай розуміють негорючу частину палива, що складається з мінеральних речовин, які знаходились у паливі. Мінеральні складові вугілля є домішками, які погіршують якість горючих копалин. Із підвищенням зольності палива знижується теплотворна здатність палива, повністю спалювати паливо стає важче, а також зменшується механічна міцність коксу. При доменній плавці зола вугілля, що перейшла у кокс, збільшує витрати останнього на одиницю виплавленого металу, призводить до підвищення витрат флюсових матеріалів, зниження продуктивності печі, що підвищує вартість металу. Наявність мінеральних домішок у вугіллі небажана, оскільки вони зменшують вміст в ньому органічної речовини. Крім того, транспортування високозольного вугілля пов'язане з непродуктивними витратами на перевезення порожньої породи. Основними компонентами золи є, %: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 і CaO [11]. Тобто зола вугілля має суттєво кислотний характер. Однією з найважливіших характеристик вугілля, що використовується для коксування, є його сірчистість, оскільки сірка - найбільш шкідлива домішка в коксі. В доменній печі сірка з коксу переходить в чавун, різко погіршуючи як його якість, так і якість отримуваної потім з нього сталі, викликаючи її червоноламкість, появу тріщин і руйнування заготовок при великому ступені

обтиснення. Наприклад, наявність сірки в сталі призводить до зниження її пластичності, погіршує зварюваність металу.

У добутому вугіллі розрізняють сірку:

- органічну, що входить до складу органічної маси;
- сульфідну і піритну, до якої входять сульфіди та бісульфіди металів;
- сульфатну - у вигляді сульфатів металів;
- елементну, яка міститься в вугіллі у вільному стані.

Показник сірчистості вугілля повинен складати не більше 2,2 %.

Вологість вугілля є не лише баластом, що здорожує його перевезення, але і затрудняє підготовку вугілля до коксування: транспортування, перевантаження жолобами, зберігання на складах, видачу з сховищ - бункерів і дозування. При використанні шихти підвищеної вологості доводиться або подовжувати період коксування, що декілька знижує продуктивність коксових печей, або підвищувати температуру в обігрівальних каналах, що веде до зменшення крупності коксу і зменшення виходу хімічних продуктів. Тому верхня межа вмісту води у вугіллі і в шихті повинна нормуватися. Вологість вугілля має значний вплив на насипну щільність вугільної шихти. Насипна щільність шихти є параметром, що відповідає за збільшення щільності упаковки вугільних частинок, забезпечує більш тісний контакт між окремими зернами вугілля. Ці фактори покращують спікання вугільних частинок при коксуванні та для деяких вугільних сумішей збільшують механічну міцність отриманого коксу. Зі збільшенням механічної міцності зв'язаний також більший вихід металургійного коксу. На рис. 1.4 показана залежність насипної щільності вугілля від води. Зі зміною води вугілля його насипна щільність змінюється по кривій з мінімумом в області 10-12 % вологості [12].

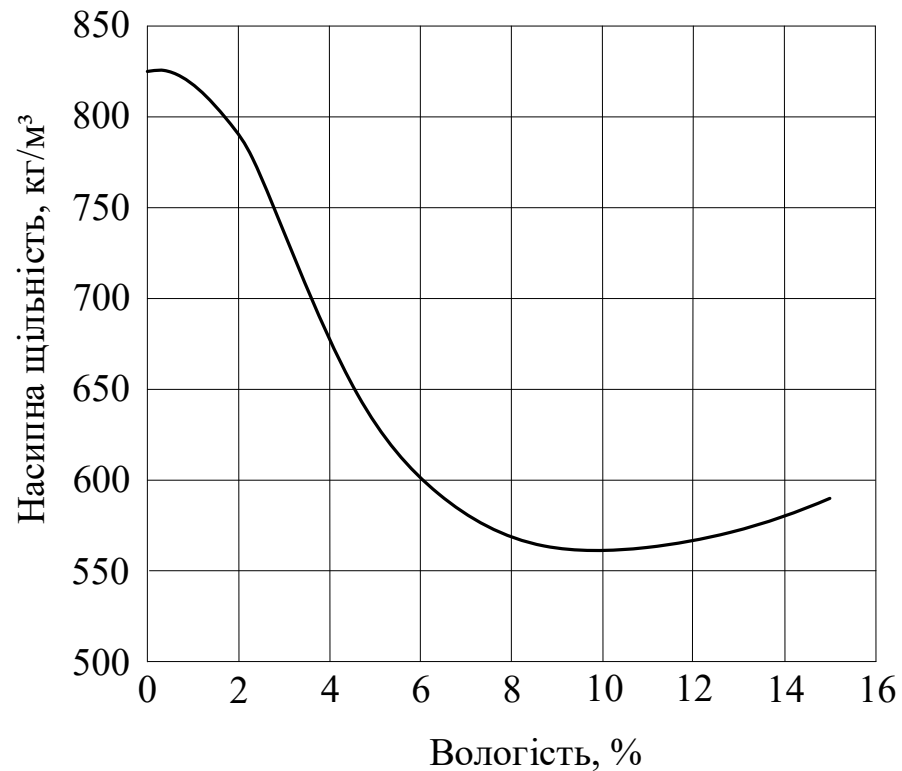


Рис 1.4. Залежність насипної щільності вугілля від вологості вугільної шихти

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Леткі речовини вугілля - це газо- і пароподібні продукти:

а) гази (продукти розкладання органічних і мінеральних речовин вугілля);

б) рідкі в пароподібному стані продукти, маслянисті продукти розкладання органічної маси ТПК.

Вихід летких речовин характеризує кількість термічно нестабільних атомних угруповань, які відщепляються при даній температурі. Визначення виходу летких речовин необхідне для оцінки практичної цінності різних видів вугілля. Цей показник важливий для оцінки властивостей енергетичного вугілля, як характеристика реакційної здатності і займистості палива, а також для коксівного вугілля, оскільки він визначає вихід коксу і хімічних продуктів коксування.

Зі збільшенням стадії метаморфізму показник виходу летких речовин зменшується [10].

Марка вугілля.....	Д	Г	Ж	К	ПС
$V^{\text{daf}}, \%$	>42	44-35	35-27	27-22	18-12

Теплота згоряння вугілля характеризує одну з найважливіших властивостей, що визначає цінність вугілля як джерела енергії. Вона змінюється у широких межах, залежить від властивостей та складу органічної маси, зольності та вологості. Теплота згоряння вугілля (Q) використовується для порівняння теплотехнічних властивостей вугілля різних родовищ та технологічних марок між собою і з іншими видами палива. Визначення теплоти згоряння проводиться виміром кількості тепла, що виділяється одиницею маси вугілля при повному згорянні його в середовищі стисненого кисню в стандартних умовах. Відповідними перерахунками величини теплот згоряння отримують значення вищої теплоти згоряння ($Q_{\text{В}}$) за виключенням тепла, отриманого за рахунок пароутворення, і нижчої ($Q_{\text{Н}}$) теплоти згоряння з додатковим винятком тепла, отриманої за рахунок випаровування води [13]. Вища теплота згоряння за стадією метаморфізму твердих копалин зростає, і для кам'яного вугілля на беззольну масу $Q_{\text{В}}^{\text{daf}}$ складає 32-37 МДж/кг. Вміст вуглецю $C^{\text{daf}}, \%$ із зростанням стадії метаморфізму вугілля збільшується. Органічну масу вугілля утворюють з'єднання, у складі яких є вуглець, водень, кисень, азот.

Вуглець є основним елементом вугілля. При горінні вуглецю виділяється $34,11 \cdot 10^3$ кДж/кг. Водень у вугіллі складає 2-10 %. Кисень у вугіллі знаходиться у межах від 1-2 % у антрацитах, до 40 % - у торфах. Азот вугілля надає малопомітного впливу на його технологічні властивості. Щільність вугілля характеризує його пористість. У природному стані добуто з надр вугілля зазвичай має численні тріщини і включає пори (порожнечі) різної форми і розмірів. Розрізняють дійсну ($D_{\text{r}} = 1,5-2,0$ г/см³) і уявну ($D_{\text{a}} = 1,2-1,3$ г/см³) густину. Дійсна густина змінюється зі стадією метаморфізму. Пористість для кам'яного вугілля складає 5 %, буває закрита і відкрита пористість. Вага одиниці об'єму дробленого вугілля, що

завантажується в яку небудь ємність, називається насипною вагою (щільністю). Насипна щільність вугілля визначається питомою вагою вугільної речовини та об'ємом вільних проміжків між вугільними частинками. На насипну вагу впливає природа вугілля, вологість, ситовий склад. Механічні властивості вугілля обумовлені хімічним складом та структурними властивостями вугільної речовини. Механічна міцність оцінюється дробимістю, твердістю, крихкістю, частковим опором стисненню та термічною стійкістю. Дробимість вугілля показує його здатність опору руйнування під впливом зовнішніх зусиль, що передаються вугіллю безпосередньо дробильними пристроями. Дробимість змінюється зі стадією метаморфізму. Вона збільшується по мірі переходу від високої та низької до середньої, досягаючи максимуму в області з виходом летких 12-28 %. Крихкість - властивість вугілля руйнуватись під механічною дією на нього без застосування спеціальних пристроїв. Крихкість в більшій мірі залежить від петрографічного складу. Твердість вугілля оцінюється здатністю опиратися проникненню в нього інших більш твердих тіл. Змінюється зі стадією метаморфізму: досягає максимуму при вмісті вуглецю 84 %, а потім падає до мінімуму з вмістом вуглецю 90 %, і знову зростає. До пластометричних показників відносять товщину пластичного шару - y , мм та усадку - x , мм

Товщина пластичного шару (y , мм) розглядається як показник спікливості вугілля. Складаючи вугільну шихту для коксування, перш за все піклуються про здобуття коксу заданого технічного складу (певну зольність, сірчистість тощо), стежать за тим, аби вугільна шихта забезпечувала необхідну повноту спікання, а в період переходу в пластичний стан - достатній, але безпечний для кладки коксових печей тиск розпирання, сприяючий утворенню хорошої структури і грудкуватості коксу. Разом з цим прагнуть забезпечити належний вихід газу і хімічних продуктів коксування [12]. Так, значення товщини пластичного шару вугілля за стадіями метаморфізму має наступний вигляд [14]:

у, мм	Марка вугілля
-	Д
<6	ДГ
10-16	Г
17-38	Ж
13-28	К
6-12	ПС
<6	А

Пластометрична усадка вугілля (x , мм) розглядається як показник, що виражає різницю між висотою первинного завантаження вугілля і висотою залишкового продукту. Пластичні властивості залежать від генетичного типу вугілля і його ступеня вуглефікації [13]. Неможливим є складання вугільної шихти без використання петрографічних показників, мацерального складу та середнього показника відбиття вітриніту, рефлекторами вітриніту. Органічна маса вугілля складається, в основному з чотирьох груп речовин, що різняться за петрографічними ознаками (колір, структура, мікрорельєф, відбивна здатність). Таким чином розрізняють мацерали групи:

- вітриніту, V_t (утворюється з целюлози та лігніну);
- липтиніту, L (утворюється зі смол, восків, кутикул, водоростей);
- інертиніту, I ;
- семівітриніту, S_v .

Відбивна здатність є найбільш наглядним виразом глибоких змін будови та складу органічних речовин вугілля, що виникають в процесі метаморфізму.

Показник відбиття вітриніту є параметром для кількісної оцінки метаморфізму вугілля.

Рефлектограмний аналіз дозволяє встановити фактичну наявність в товарній продукції шахт, концентрату вуглезбагачувальних фабрик складових вітриніту тієї чи іншої марки вугілля.

Умовна шкала відповідності стадії відбиття вітриніту має вигляд:

R _o , %	Марка вугілля
>0,5	Д
0,5-0,64	ДГ
0,65-0,84	Г
0,9-1,19	Ж
1,2-1,39	К
1,4-1,69	ПС
1,7>2,59	А

На основі всього комплексу петрографічних характеристик в УХІНі розроблені узагальнюючі петрографічні оцінки технологічної цінності шихти, в основу яких покладено наступне [15]:

- рівень вмісту вітриніту середньої стадії метаморфізму (R_o=0,9-1,39 %) відображає наявність складових вітриніту, які в процесі термічної деструкції утворюють значні кількості термостійких рідких продуктів. Кількість вказаних складових вітриніту в перерахунку на органічну масу, називається комплексним показником C_ш, що характеризує спіклівість шихти:

$$C_{ш} = \frac{\sum(0,9-1,39) \cdot Vt}{100} \quad (1.1)$$

Під спіклівістю розуміють здатність подрібненого вугілля утворювати при нагріві без доступу повітря тверду масу - коксовий залишок. Чим вища величина комплексного показника, тим краще прогнозовані характеристики коксу, що отримуються з цієї шихти. - другий показник характеризує коксівність шихти. Він представляє собою відношення сумарного вмісту складових вітриніту з показником відбиття 0,9-1,39 %, що мають високу спіклівість та володіють здатністю приймати опіснюючі присадки, та мацералів групи липтиніту до суми опіснюючих мацералів та не спіклівих складових вітриніту з відбивною здатністю > 1,7%:

$$K_{\text{ш}} = \frac{(\sum 0,9 - 1,39 \frac{V_t}{100}) + L}{\sum O.K. + \sum (> 1,7) \frac{V_t}{100}} \quad (1.2)$$

Коксівністю називають здатність вугілля при певних умовах підготовки та нагріву до високих температур утворювати кусковий пористий матеріал - кокс, що володіє певною міцністю та крупністю. Основними носіями підвищеної активності служать компоненти групи вітриніту та липтиніту, а до інертних опіснюючих компонентів відносять мацериали групи інертиніту, що не переходять у пластичний стан та не утворюють рідких продуктів деструкції. Мікрокомпоненти групи семівітриніту переходять у пластичний стан, але при цьому процес проходить всередині окремих частинок, що не вступають у взаємодію з іншими, обумовлюючи опіснюючий ефект [16].

Вихід летких речовин значною мірою залежить від петрографічного складу і типу вугілля за ступенем відновленості та окиснення. У петрографічно неоднорідному вугіллі вихід летких речовин не однаковий для різних мікрокомпонентів вугілля. Підвищений вміст у вугіллі мікрокомпонентів групи липтиніту призводить до збільшення виходу летких речовин, а у вугіллі з високим вмістом мікрокомпонентів групи інертиніту показник виходу летких речовин має занижені значення. Тому вихід летких речовин не може служити надійним параметром поділу вугілля за стадіями метаморфізму, особливо для вугілля низьких і високих стадій метаморфізму. Найбільш значно із зростанням метаморфізму зменшується вихід летких речовин з липтиніту [15].

1.2.2 Показники петрографічного складу. Петрографічний склад вугілля

В даний час для отримання коксу необхідної якості не обходиться без ретельного планування складу шихти. Як показано у попередньому підрозділі, в ході процесу планування складу шихти основними показниками,

які використовуються, є зола, вихід летких речовин і сірка, а також товщина пластичного шару. Цей підхід дуже консервативний, так як вихід летких речовин величина усереднена, і не дає повної інформації про спікливі властивості вугілля. Тому все частіше при складанні шихти і плануванні якості коксу вдаються до використання петрографічних характеристик. Дослідниками якості вугілля вже давно доведено, що різноманіття властивостей вугілля обумовлено впливом таких геологічних факторів, як вихідний рослинний матеріал, умови його накопичення в торфовищах, ступінь обводненості останніх, хімічний характер середовища. Група первинних факторів знаходить своє відображення в петрографічному складі, а вторинних в - зміні вугілля по мірі метаморфізму. Мацеральний склад відображає неоднорідність вихідного рослинного матеріалу, особливості його перетворення в торфовищах, а також кількість і склад мінеральних домішок. Петрографія - від грецького слова "петро" - камінь, "граф" - описувати, займається вивченням мінералогічного складу горючих порід, до яких відносяться і тверді горючі копалини. Вперше науку з петрографії запропонувала англійська дослідниця М. Стопе в 1919 році [15]. При розгляді вугілля, вже неозброєним оком видно, що вугілля при вертикальному розрізі має неоднорідну структуру, різні прошарки, що відрізняються оптичними характеристиками - одні з них блискучі, інші - напівблискучі, треті - матові (рис. 1.5). Органічна речовина кам'яного вугілля і антрацитів, що спостерігається під мікроскопом у відбитому світлі з масляною імерсією, складається з мацералів, що відрізняються між собою за кольором, показником відбиття, мікрорельєфом, морфологією, структурою та ступенем її збереження, а також за розмірами. При петрографічному аналізі мацералів вугілля поєднують у групи за близькими хіміко-технологічними властивостями.

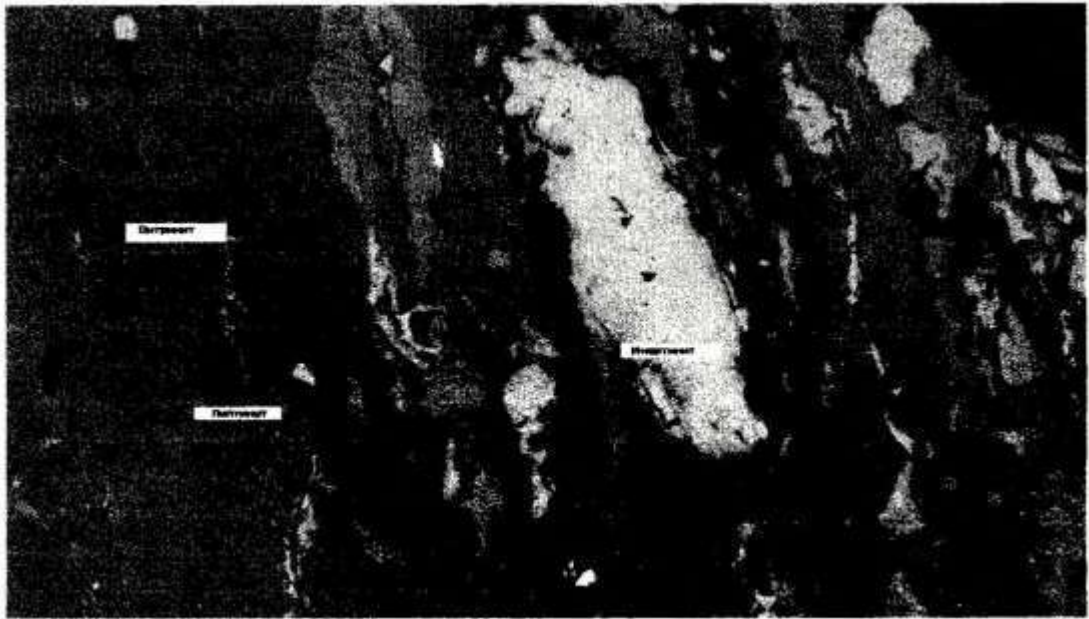


Рис 1.5. Загальний вигляд зразка вугілля під мікроскопом у відбитому світлі

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]

Згідно ГОСТу 9414.1-94 “Вугілля кам’яне та антрацит. Методи петрографічного аналізу. Частина 1. Словник термінів”, органічна речовина складається з чотирьох груп мацералів: вітриніту, липтиніту, семівітриніту, інертиніту [17]. За еталон відбивної здатності і рельєфу в кожному куті застосовують компоненти групи вітриніту. Це пов'язано з найбільш однорідною структурою і мікрорельєфом в порівнянні з іншими складовими вугілля. Мацерали цієї групи мають рівну поверхню і сірий колір різної яскравості залежно від марки вугілля. Показник відбиття коливається в межах 0,40-4,50 % і більше. Мацерали цієї групи при нагріванні без доступу повітря переходять в пластичний стан (при показнику відбиття вітриніту 0,64-1,85 %). Мацерали групи інертиніту характеризуються високим показником відбиття і різко вираженим мікрорельєфом. Колір змінюється від білого до жовтого. Мацерали цієї групи не переходять у пластичний стан незалежно від ступеня метаморфізму.

Мацерали групи семівітриніту за фізичними і хіміко-технологічними властивостями займають проміжне місце між вітринітом і інертинітом. Ця

група не має рельєфу. Колір під мікроскопом сірий з різними відтінками. Показник відображення в імерсії знаходиться в межах 0,60-2,70 %. У процесі коксування мацерали групи семівітриніту не переходять у пластичний стан але в деякій мірі здатні розм'якшуватись [18]. Група липтиніту представлена мацералами різного походження та форми. Колір змінюється від темно-коричневого, чорного до сірого в залежності від стадії метаморфізму. Показник відображення у цієї групи низький - 0,21-1,50 %. При коксуванні мацерали групи липтиніту утворюють пластичну масу більш рухливу ніж мацерали групи вітриніту. Найбільш ґрунтовні дослідження вугілля з метою з'ясування можливості застосування показника відбиття вітриніту в якості класифікаційного параметру їх метаморфізму проведені О.М. Решетко, який показав, що відбивна здатність вітриніту, є єдиним вірним способом визначення ступеня метаморфізму вугілля, взятих з зони окиснення. Доведено також, що мікрокомпоненти групи вітриніту відрізняються за показником відбиття вітриніту. У зв'язку з цим необхідно визначати відбивну здатність по всьому вітриніту. Не дивлячись на те, що відбивна здатність вітриніту як показник ступеня метаморфізму має переваги перед будь-яким іншим параметром, технологічна класифікація вугілля побудована на виході летких речовин. Мабуть, причиною цього була відсутність стандартизованих методів визначення показників відбиття і чіткої градації вугілля за марками із застосуванням відбивної здатності вітриніту. До того ж практики вважають, що показник виходу летких речовин є технологічним параметром і в якійсь мірі дає відомості про поведінку вугілля при коксуванні. Насправді, це є помилкою, оскільки для суміші вугілля вихід летких речовин величина усереднена [19].

Виходячи з усього вищесказаного, технічний аналіз не дає повної інформації про спіклівість і коксівність вугільних концентратів. Тільки за рефлектограмним аналізом можна спрогнозувати якісні показники коксу. Тому на сучасних заводах просто необхідно проводити випробування по

визначенню середнього показника відбиття вітриніту, а для східного вугілля - і за петрографічним складом.

1.3 Лабораторна методика вибору оптимального складу шихт

Одними з основних напрямів і способів підвищення якості коксу є оптимізація марочного складу і властивостей вугільної шихти, які визначають фізико-механічні властивості коксу. При постійній технології підготовки вугільної шихти і температурних режимів коксування єдиним інструментом, який мають фахівці коксохімічного переділу і дає змогу керувати міцністю коксу, є склад і якість вугільної шихти [1]. Склад вугільної шихти і коливання її якості на 70-80 % визначають міцність коксу. У зв'язку з цим у практиці роботи коксохімічних підприємств для поліпшення якості коксу основну увагу приділяють вугільній сировинній базі коксування, а саме оптимізації складу і якості шихти [2].

Нині шихти компонують переважно на основі їхньої оцінки за показником товщини пластичного шару, а також за даними петрографічного аналізу. Останній дає змогу визначити суму спікливих та пісних компонентів. Компоненти, що спікаються, у процесі коксування утворюють рідку фазу пластичної вугільної маси і є сполучною речовиною, що сорбується на поверхні пісних компонентів - наповнювачів. У результаті хемосорбційної взаємодії сполучного з наповнювачем на поверхні частинок наповнювача утворюється плівка, хімічний склад якої інший, ніж у сполучного.

Міцність одержуваного коксу залежить від кількості сорбованої пластичної маси, а також від властивостей плівки, що утворюється і перетворюється на кокс. При малому вмісту сполучного в шихті товщина плівки невелика і міцність коксу низька. Максимальної міцності набуває кокс при реалізації всієї кількості сполучного в сорбційних плівках на поверхні наповнювача. Надмірна кількість сполучного призведе до утворення шару коксу пористої структури і меншої міцності, що знизить міцність

одержуваного коксу. Вихід коксу з речовин плівки, що утворюється, вищий, ніж з речовин сполучної речовини, внаслідок чого має місце збільшення виходу коксу зі сполучної речовини під час коксування її в суміші з наповнювачем. Чим більша щільність і товщина плівки із сорбованого зв'язувального (тобто чим вища сорбційна здатність компонентів зв'язувального щодо наповнювача), тим вищий вихід коксу зі зв'язувального. Тому величина підвищення виходу коксу зі зв'язувального в суміші з наповнювачем порівняно з виходом коксу з чистого зв'язувального може служити кількісною характеристикою сорбційної взаємодії зв'язувального з компонентами, що не спікаються.

1.4 Аналіз сучасних підходів до оцінки марочного складу вугільної шихти

Питання складання вугільних шихт для коксування розглядається з урахуванням одержання коксу необхідної якості та більш ефективного використання ресурсів коксівного вугілля. В шихті для коксування на коксохімічних підприємствах може використовуватися до 13 марок вугілля: ДГ, Г, ГЖП, ГЖ, Ж, КЖ, К, КП, КСН, КС, ПС, СС, ПС та ін. Виходячи з основних технологічних властивостей вугілля, що коксується, його можна поділити на спікливі, коксівні та опіснюючі добавки. Марки першого типу можуть бути замінені одна одною, однак це може істотно позначитися на якості шихти та коксу. Вугілля різних марок має певну технологічну цінність та виконує конкретну роль на коксохімічних підприємствах, об'єми його використання у шихті різні [20]. Оптимальні склади вугільних шихт для конкретних коксохімічних підприємств розробляли, і при необхідності, корегували фахівці галузевих інститутів ВУХІН і УХІН. Сьогодні ці інститути частково втратили роль координаторів сировинної бази вуглезбагачувальних фабрик і шихт коксохімічних підприємств [21], що, загалом, негативно позначається на якості коксу. У 1940 році класичний

склад шихти більшості коксохімічних заводів України був наступний, %: Г 7,5; Ж 51,3; К 22,2 і ПС 19. Така шихта забезпечувала високу спікливість (товщина пластичного шару 19-21 мм), а також високий вихід валового коксу (80 % і більше) і максимальний вміст у валовому коксі класів крупності більше 25 мм (більше 93-94 %) [22]. У подальшому зі зміною вугільної бази коксування оптимальний склад вугільної шихти неодноразово змінювався. Так досвід роботи коксохімічних заводів України та дослідження УХШ в 1969-1970 роках в галузі вдосконалення технології виробництва коксу показували, що оптимальною шихтою був наступний марочний її склад, %: Г 32, Ж 35, К 15, ПС 15, П 3 [23]. Надалі у зв'язку з черговою зміною вугільної сировинної бази коксування змінився і склад вугільних шихт: вміст газового вугілля був доведений в 1975 році до 34-35 %, жирного і коксівного вугілля сумарно до 46,3 %, а вугілля марки ПС до 15-16 %. Вихід валового коксу був 74-75 %, а вихід коксу металургійного класу 25 мм від валового склав 91,5 % (1992 рік) [22]. У статті [24], опублікованій в 2000 році, автори відзначають, що існуюча технологія шарового коксування забезпечує виробництво коксу з донецького вугілля з показниками міцності M_{25} 90 % і старанності M_{10} 6 %. При цьому шихта для коксування повинна бути наступного складу, %: Г 25-30; Ж 35-40; К 15-20; ПС 15-20; при сумарному вмісті жирного і коксівного вугілля 50 %. Товщина пластичного шару такої вугільної шихти повинна бути не менше 16 мм, вихід летких речовин не більше 28 %, вміст класу 0-3 мм 75-80 %. Оптимальний марочний склад шихти для коксування з кузнецького вугілля виглядав наступним, %: ГЖ 20-25; Ж 25-20; ПС + К + КО 35-40; КС 20-15. У той же час для коксохімічного виробництва Череповецького металургійного комбінату, що працює на воркутинському вугіллі марки Ж оптимальний марочний склад був наступним, %: Ж 70-75; ПС 25-20 і КС 5-10. Відмінності оптимального складу обумовлювалися розходженнями властивостей вугілля, що грають роль спікливої основи. В період 2004-2006 років на коксохімічних підприємствах України коксували шихти із середньою масовою часткою вугілля Донбасу 68-73 % і марочним

складом: Г 21; Ж 25-26; К 22-26; ПС 1,8-2,2 %. Масова частка імпортованого вугілля з Росії була в середньому 27-32 %. При виробництві коксу тільки з вугілля Донецького басейну оптимальним вважали наступний марчний склад шихти, %: Г 32; Ж 35; К 18; ПС 15, коксування якої звичайним шаровим методом забезпечувало отримання міцного коксу (M_{25} 88-90 % і M_{10} 6,0-6,5 %) [25]. Таким чином, протягом останніх 70 років підходи до визначення оптимального марчного складу вугільної шихти неодноразово змінювалися в залежності від існуючої сировинної бази коксування та технологічних і шихтових умов роботи кожного коксохімічного заводу або цеху

1.5 Основні критерії оцінки марчного складу вугільної шихти

В умовах сучасної сировинної бази коксування, при нестабільності поставок вугільних концентратів на коксохімічні заводи, особливої важливості набувають питання визначення показників, за якими необхідно оцінювати оптимальність марчного складу вугільної шихти. Аналіз стану сировинної бази коксування показав [26], що за час становлення ринкової економіки жодне виробництво не мало постійної сировинної бази ні по набору постачальників, ні по їх пайовій участі, ні за марчним складом, ні за показниками якості. Наряду з показниками ступеню метаморфізму (R_o , V^{daf}) та спікливості (γ), які традиційно використовують як параметри оптимізації складу шихт, в Росії для цієї мети розроблено ряд додаткових показників. Автори [27], вивчивши вплив складу золи на фізико-хімічні властивості коксу, що визначаються за показниками CRI і CSR, з метою оптимізації складу шихти пропонують використовувати індекс основності золи ($I_{o.z.}$), значення якого для отримання якісного коксу повинно складати $< 2,5$

$$I_{o.z.} = \frac{100 \cdot A^d (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(SiO_2 + Al_2O_3)(100 - V^{daf})}, \quad (1.3)$$

де $I_{o.z.}$ - індекс основності золи;

A^d , V^{daf} - відповідно зольність та вихід летких речовин з шихти, % [28].

В роботі [29] враховуючи тривалість і трудомісткість визначення $I_{0.3}$ за даними хімічного складу золи, у якості критерію оптимізації складу шихти рекомендується використовувати температуру рідкоплавкого стану золи t_c . Умова $t_c = 1450-1500$ °С вважається необхідним і достатнім критерієм оптимального складу шихти для отримання коксу з $CRI \leq 35$ %, $CSR \geq 55$ %.

Авторами роботи [30] запропонований показник “коефіцієнт балансу складу коксівних та спікливих компонентів” $K_{к/с}$.

Аналіз розподілу вітриноїдних типів у концентратах вуглезбагачувальних фабрик показав значну неоднорідність більшості з них за ступенем метаморфізму вугілля, що входить до них. Найбільш важливим представляється співвідношення вітриноїдних типів, що визначають коксівність і спікливість шихти. При цьому вітриноїдні типи з показниками відбиття вітриніту 1,2-1,65 % більшою мірою “відповідальні” за коксівність, а з показниками 0,95-1,19 % - за спікливість. Показник $K_{к/с}$ представляє собою відношення в шихті вітриноїдних типів з показниками відбиття вітриніту 1,2-1,65 % і 0,95-1,19 %, тобто:

$$K_{к/с} = \frac{VtR_{0,1,2 \div 1,65}}{VtR_{0,0,95 \div 1,19}} \quad (1.4)$$

Якщо дане відношення більше 1, то показник $K_{к/с}$ можна назвати «коефіцієнтом переважання коксівних компонентів шихти над спікливими». У разі нестачі коксівних компонентів, цей коефіцієнт менше одиниці, і його слід вважати «коефіцієнтом браку коксівних компонентів». Статистична обробка результатів коксування показала хороший зв'язок показника $K_{к/с}$ з якістю коксу. Автори роботи [26] запропонували визначитися з критеріями оптимальності вугільної шихти з точки зору отримання коксу максимально можливої міцності. Критерії оптимальності вугільних шихт поширюються як на марочний склад, так і на властивості вугільних шихт. Вони знаходяться в тісному взаємозв'язку і не виключають, а доповнюють один одного. Оптимальність марочного складу визначається тим, яка сировина використовується в якості спікливої основи шихти.

Також зазначено, що критерії оптимальності поширюються і на ряд показників властивостей шихти. Оптимальна шихта незалежно від присутності в ній тієї чи іншої вугільної сировини повинна відповідати наступним показникам: $V^d > 25\%$ (що в перерахунку на V^{daf} становить 27-27,8 %); $y > 15$ мм; $R_o, > 1,12\%$; $V_t > 60\%$ (на безмінеральну масу). Цієї точки зору дотримуються і автори роботи [31], які відзначають, що зазначені оптимальні значення властивостей є єдиними для будь-яких шихт, незалежно від басейнової сировини.

Автори роботи [26] ділять шихту на групи: спікливу основу (Ж + ГЖ + КЖ), коксову присадку (ПС + К + КО), пісну присадку (КС+КСН), слабоспікливі (Г + ГЖО + ПС) і некоксівні (Д + ДГ + СС + П). Згідно з їх розрахунками оптимальний вміст спікливої основи вугільної шихти для Череповецького металургійного комбінату коливався в діапазоні 48-49,7 %, коксової присадки 34-36 % і пісної присадки 15,8-16,4 %. Порушення критеріїв оптимальності стало проявляти себе з настанням дефіциту вугілля коксової групи (ПС + К + КП), що представляють сировину зі зниженим вмістом летких речовин і підвищеною коксівністю [31]. Сьогодні вугільна сировинна база та шихта за критеріями оптимальності марочного складу не відповідає вимогам виробництва високоякісного по міцності коксу через дефіцит коксової основи [32].

При розподілі шихти на спікливі і пісні компоненти автори роботи [33] оптимізацію її складу проводять за їх співвідношенням 43:57 % (середні), вмісту коксівного вугілля 37 % в пісних компонентах, вмісту вугілля марки Ж 23 % в спікливій частині. Виходячи з цього, для оцінки оптимальності марочного складу вугільних шихт запропонований узагальнюючий показник - коефіцієнт оптимальності K_{opt} , який автори пропонують вважати мірою наближення виробничого марочного складу вугільної шихти до базового оптимального. Даний показник розраховується як добуток коефіцієнтів оптимальності за трьома параметрами [33]:

$$K_{opt} = 100 \cdot (K_c \cdot K_k \cdot K_j), \% \quad (1.5)$$

де K_c - коефіцієнт оптимальності співвідношення спікливих та пісних компонентів:

$$K_c = [100 - (\Sigma SK - 43) \cdot 2], \% \quad (1.6)$$

де K_k - коефіцієнт оптимальності вмісту в шихті коксівного вугілля:

$$K_k = [100 - (\Sigma SK - 37)] / 100, \% \quad (1.7)$$

де K_j - коефіцієнт оптимальності вмісту в шихті жирного вугілля:

$$K_j = [100 - (\Sigma J - 23)] / 100, \% \quad (1.8)$$

В наведених формулах підраховується абсолютна величина різниці між фактичним і оптимальним вмістом компонентів вугільної шихти без урахування знаків \pm . З формули K_{opt} випливає, що шихта оптимізована на 100 % лише в ідеальному випадку, коли кожний з коефіцієнтів K_c , K_k і K_j дорівнює 1, тобто шихта оптимізована за всіма трьома параметрами. В роботі [33] встановлено, що чим вище значення K_{opt} тим міцніше кокс, показники M_{40} та M_{25} зростають. Також наголошується, що запропонований показник оптимальності складу вугільної шихти K_{opt} дозволяє здійснювати як оперативну оцінку коксованості вугільної шихти, так і в ретроспектив, а також прогнозувати механічну міцність коксу. В роботі [25] також використовували для оцінки оптимальності складу вугільної шихти коксохімічних підприємств України коефіцієнт K_{opt} , беручи до уваги висловлювання авторів роботи [33], що цим коефіцієнтом можна об'єктивно оцінити стан сировинної бази коксування. У зв'язку з цим у рівняннях визначення коефіцієнтів K_c , K_k і K_j були залишені значення 43, 37 і 23, як оптимальні, і для коксохімічних підприємств України. Виконаний аналіз для коксохімічних підприємств України за період 2004-2006 роки показав, що зміна коефіцієнту K_{opt} по роках свідчить про погіршення стану сировинної

бази коксування в цілому для заводів України. Так, у 2004 році $K_{\text{опт}}=77,4\%$, в 2005 році $K_{\text{опт}}=73\%$, а в 2006 році $K_{\text{опт}}=66,9\%$. Це обумовлено, головним чином, зниженням величини коефіцієнта K_c , тобто зростанням дефіциту вугілля спікливої основи шихти. Автори також встановили, що зі зростанням коефіцієнту $K_{\text{опт}}$ в коксі знижується показник M_{10} і зростає M_{25} , тобто якість коксу поліпшується. Таким чином, коефіцієнт $K_{\text{опт}}$ являє собою об'єктивну кількісну характеристику оптимальності марочного складу шихти як в цілому по Україні, так і по окремих цехах і заводах.

1.6 Висновки до аналітичної частини

В аналітичній частині розглянуті питання стосовно функцій коксу в доменній плавці, сучасні вимоги до його якості, основні технологічні характеристики вугільної шихти. Серед характеристик вугільної шихти приділено увагу петрографічному складу вугілля. Проаналізовані сучасні підходи до оцінки оптимальності марочного складу вугільної шихти за різними критеріями:

1. Виконаний аналіз показав, що якісний кокс, який відповідає сучасним потребам металургів, має відповідати наступним вимогам: $M_{25} > 90\%$; $M_{10} < 6\%$; $CSR > 66\%$; $CRI < 26\%$; $A^d = 6,9-7,5\%$; $V^{\text{daf}} = \text{до } 1\%$; $S_t^d = 0,5-0,7\%$; крупність – максимальний вміст класу 60-40 мм.

2. Аналізуючи причини зниження якості коксу (для вивчення впливу властивостей вугільної шихти на міцність коксу було розглянуто якісні показники коксу коксохімічного підприємства «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2008-2012 рр.), можна виокремити такі чинники, як:

- велика кількість постачальників вугільних концентратів;
- неточності у виборі оптимального ступеня подрібнення вугільної шихти, через що насипна щільність шихти і частка «пісного» класу $< 0,5$ мм у шихті не відповідали оптимальним значенням за умови мінливого марочного складу шихти;

- низький ступінь змішування шихти після дробарок;
- підвищена вологість і зольність шихти, що йде на коксування;
- висока мінливість показників якості вугілля і шихт.

В умовах погіршення сировинної бази коксування і неритмічності постачання вугільних концентратів на коксохімічні підприємства під час розв'язання проблеми якісної підготовки шихти, яка надходить на коксування, мають бути враховані такі ключові моменти:

- шихта має надходити до вуглепідготовчих цехів із вмістом вологи не вище вище 6-7 % або необхідно вживати заходів до її сушіння на коксохімічних підприємствах;

- неодмінною умовою є постійне уточнення і використання у вуглепідготовчих цехах оптимального ступеня дроблення шихти, що сприяє зниженню суми відсувних компонентів шихти і зростанню вмісту вітриніту в ній, що покращує спікливість і коксівність шихти, а отже, і якість коксу;

- необхідним є доведення ступеня змішування вугільної шихти за всіма її показниками до 98-99 %, оскільки нерівномірний їх розподіл у коксовій камері негативно позначається на якості коксу.

3. Встановлено, що для отримання коксу необхідної якості необхідно ретельне планування складу шихти. В сучасних умовах сировинної бази технічний аналіз не дає повної інформації про спікливість і коксівність вугільних концентратів. Використаний раніше показник виходу летких речовин не може служити надійним параметром поділу вугілля за стадіями метаморфізму, особливо для вугілля низьких і високих стадій метаморфізму. Тому неможливим є складання вугільної шихти без використання петрографічних показників, мацерального складу та середнього показника відбиття вітриніту, рефлексорами вітриніту, і через це на сучасних заводах просто необхідно проводити випробування по визначенню середнього показника відбиття вітриніту, а для східного вугілля - і за петрографічним складом.

4. На основі досліджень встановлено, що відбивна здатність є найбільш наглядним виразом глибоких змін будови та складу органічних речовин вугілля, що виникають в процесі метаморфізму. Показник відбиття вітриніту є параметром для кількісної оцінки метаморфізму вугілля. Рефлектограмний аналіз дозволяє встановити фактичну наявність в товарній продукції шахт, концентрату вуглезбагачувальних фабрик складових вітриніту тієї чи іншої марки вугілля.

5. В ході теоретичного аналізу встановлено, що протягом останніх 70 років підходи до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти неодноразово змінювалися в залежності від існуючої сировинної бази коксування та технологічних і шихтових умов роботи кожного коксохімічного заводу або цеху.

6. Використання критеріїв оптимальності стало актуальним з дефіцитом вугілля коксової групи (ПС + К + КП), що представляють сировину зі зниженим вмістом летких речовин і підвищеною коксівністю. Сьогодні вугільна сировинна база та шихта за критеріями оптимальності марочного складу не відповідає вимогам виробництва високоякісного по міцності коксу через дефіцит коксової основи.

7. На основі виконаного технологічного аналізу обґрунтована доцільність використання коефіцієнту $K_{\text{опт}}$; що являє собою кількісну характеристику оптимальності марочного складу шихти як в цілому по Україні, так і по окремих цехах і заводах.

Метою даної роботи є оптимізація марочного складу вугільної шихти для умов роботи коксохімічного виробництва ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні підходи до оцінки оптимальності марочного складу вугільної шихти.
2. Дослідити існуючі критерії оптимальності марочного складу вугільної шихти з точки зору отримання коксу необхідної якості.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Оцінка оптимальності марочного складу вугільних шихт та якості коксу коксохімічних підприємств України

Прогноз зростання потреби економіки нашої країни в металопродукції сприяє зростанню потреби в коксі і, отже, в вугільній сировині. Для виробництва металургійного коксу застосовують кам'яне вугілля певного типу - середньої стадії метаморфізму, що має низку специфічних властивостей, притаманних тільки спікливому і коксівному вугіллю. Відомо, що на формування властивостей коксу істотно впливає часткова участь у шихті для коксування вугілля різних марок [6,7]. Склад вугільних шихт підбирають з урахуванням спікливості, виходу летких речовин, вмісту вітриніту в концентратах і його показника відбиття. За результатами багаторічних досліджень і досвіду складання вугільних шихт введено поняття критерію оптимальності [7-11]. Прийнято, що показники якості оптимальної шихти мають бути на рівні: $R_{o,r} \geq 1,125\%$; $V_t \geq 65\%$; $V^d \geq 25\%$; $y > 14$ мм; $SI \geq 6$.

Як показала практика, ряд концентратів окремих вуглезбагачувальних фабрик, маркується у посвідченні як вугілля однієї марки, фактично є сумішшю вугілля різних марок, що може бути встановлено тільки за рефлектограмою вітриніту. Тому фактичний марочний склад шихти за участю концентратів цих вуглезбагачувальних фабрик також має визначатися з урахуванням рефлектограми вітринітової складової шихти. Керуватися при цьому слід розбивкою за марками вітринітової складової, запропонованої УХІНом [15].

У зв'язку з тим, що фактичний склад шихти радикально відрізняється від того, який дається в завданні на дозування компонентів, які до неї входять, велике значення має правильне визначення і підбір марочного складу. Для чого доцільно, поряд з показниками виходу летких речовин і

спікливості, використовувати петрографічний і рефлектограмний аналізи. Встановлений за допомогою даних петрографічного аналізу компонентний склад шихти дозволяє, перш за все, оцінити істинну кількість вугілля марок Ж, К і ПС, які визначають технологічну цінність шихти в цілому, а також кількість неспікливих складових, що припадають на ці компоненти. Фактичний марочний склад шихти за участю концентратів іноземних постачальників також має визначатися з урахуванням рефлекторами вітринітової складової шихти. З метою оцінювання оптимальності марочного складу вугільної шихти у даній дипломній роботі використана методика визначення коефіцієнту $K_{\text{опт}}$ і його компонентів, розраховані їх значення за результатами роботи коксохімічних підприємств України в 2010 і 2011 роках [34, 35]. У рівняннях визначення коефіцієнтів K_c , K_k і $K_{\text{ж}}$ були використані коефіцієнти 43, 37 і 23, прийняті в роботах [25, 33] як оптимальні. Дані про зміну середньорічних значень коефіцієнта оптимальності вугільних шихт і показників якості коксу (M_{25} і M_{10}) коксохімічних підприємств України в 2010 і 2011 роках наведено у табл. 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1

Середньорічні значення коефіцієнта оптимальності вугільних шихт і показників якості коксу M_{25} і M_{10} коксохімічних підприємств України у 2010 році

Підприємство	2010 рік					
	K_c	K_k	$K_{\text{ж}}$	$K_{\text{опт}}$	M_{25}	M_{10}
ПАТ Авдіївський КХЗ	0,370	0,829	0,862	27,6	88,1	7,6
ТОВ «ІСТЕК»	0,554	0,969	0,847	45,5	86,3	7,6
ПАТ «ДОНЕЦЬКОКС»-2	0,710	0,987	0,745	52,2	88,0	7,3
ПАТ «Єнакієвський» КХП	0,264	0,816	0,832	17,9	87,6	7,0
ПАТ «Яспівський» КХЗ	0,630	0,894	0,930	53,9	86,0	7,5
ПАТ «Алчевськкокс»	0,703	0,971	0,874	59,0	87,6	6,4
ПАТ «Макіївськкокс»	0,564	0,926	0,652	34,1	89,1	6,6
ПАТ «ЄВРАЗ Баглійкокс»	0,676	0,973	0,973	64,0	84,9	7,8
ПАТ «ЄВРАЗ Дніпродзержинський КХЗ»	0,568	0,988	0,974	54,7	87,0	7,9
ПАТ «ЄВРАЗ-ДМЗ ім Петровського»	0,586	0,958	0,993	55,7	87,8	7,7
ПАТ «Запоріжкокс»	0,534	0,921	0,922	45,3	86,9	7,7
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	0,958	0,910	0,779	67,9	83,4	8,6
ЗАТ «Харківський КХЗ»	0,942	0,883	0,829	69,0	Н.д	Н.д
Середнє по Україні	0,620	0,925	0,862	49,7	86,9	7,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34-35]

Як видно з наведених даних, високе значення $K_{\text{опт}}$ не завжди відповідає показникам найбільш міцного коксу. Так, наприклад, за результатами роботи коксохімічних підприємств у 2010 році (табл. 2.1) при мінімальному значенні $K_{\text{опт}} = 17,9 \%$ на ПАТ Єнакіївський КХП показники міцності коксу були $M_{25}=87,6 \%$, $M_{10} = 7 \%$, а на ПАТ Авдіївський КХЗ також при низькому значенні $K_{\text{опт}} 27,6 \%$ показники міцності коксу $M_{25}=88,1 \%$, а $M_{10}=7,6 \%$. В той же час на ПАТ “ЄВРАЗ Баглійкокс” та ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” показники $K_{\text{опт}}$ мали найвищі значення, відповідно 64 і 67,9 %, при гіршій якості коксу, відповідно $M_{25}=84,9$ і 83,4 %, а $M_{10} =7,8$ і 8,6 %. З аналізу даних таблиць випливає, що середній показник $K_{\text{опт}}$ для коксохімічних підприємств України у порівнянні з 2004-2006 роками продовжував знижуватися з 66,9-77,4 % до 49,7 % в 2010 році і до 43,6 % у 2011 році.

Таблиця 2.2.

Середньорічні значення коефіцієнта оптимальності вугільних шихт та показників якості коксу M_{25} й M_{10} коксохімічних підприємств України у 2011 р.

Підприємство	2011 рік					
	K_c	K_a	K_e	$K_{\text{опт}}$	M_{25}	M_{10}
ПАТ Авдіївський КХЗ	0,377	0,878	0,844	29,1	88,7	7,5
ТОВ «ІСТЕК»	0,282	0,825	0,961	22,4	87,1	7,6
ПАТ «ДОНЕЦЬККОКС»-2	0,754	0,923	0,913	63,5	85,7	7,9
ПАТ «Єнакіївський» КХП	0,386	0,893	0,778	26,8	87,8	6,8
ПАТ «Ясинівський» КХЗ	0,688	0,683	0,973	45,7	87,2	7,6
ПАТ «Алчевськкокс»	0,607	0,948	0,986	56,6	89,6	5,4
ПАТ «Макіївськкокс»	0,386	0,529	0,891	18,2	88,4	6,8
ПАТ «ЄВРАЗ Баглійкокс»	0,672	0,978	0,899	59,1	85,4	7,8
ПАТ «ЄВРАЗ Дніпродзержинський КХЗ»	0,604	0,985	0,846	50,3	87,3	8,0
ПАТ «ЄВРАЗ-ДМЗ ім Петровського»	0,640	0,980	0,851	53,4	88,2	7,8
ПАТ «Запоріжкокс»	0,494	0,947	0,899	42,1	88,2	7,3
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	0,630	0,615	0,994	38,5	86,6	7,6
ЗАТ «Харківський КХЗ»	0,816	0,892	0,833	60,6	Н.д	Н.д
Середнє по Україні	0,564	0,852	0,898	43,6	87,5	7,3

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34-35]

За результатами роботи коксохімічних підприємств у 2011 році (табл. 2.2) при мінімальному значенні $K_{\text{опт}}=18,2 \%$ на ПАТ “Макіївкокс” показники міцності коксу були $M_{25}=88,4 \%$, $M_{10} =6,8 \%$. За результатами роботи на ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” при більш високому значенні $K_{\text{опт}}=38,5 \%$ показники якості коксу мали гірші значення, відповідно, $M_{25}=86,6 \%$ и M_{10}

=7,6 %. Аналогічні невідповідності при аналізі впливу зміни коефіцієнта оптимальності на якість коксу спостерігаються не тільки між коксохімічними заводами, а й у межах одного підприємства. Так, наприклад, на КХП “АрселорМіттал Кривий Ріг” при зменшенні значення коефіцієнта оптимальності в 2011 році в порівнянні з 2010 роком на 29,4 % (з 67,9 до 38,5 %) показник M_{25} збільшився на 3,2 % (з 83,4 до 86,6 %), а показник M_{10} зменшився на 1 % (з 8,6 до 7,6 %), тобто $K_{\text{опт}}$ знизився, а показники якості коксу зросли. Залежність між показниками M_{25} та M_{10} від $K_{\text{опт}}$ українських коксохімічних підприємств за 2010-2011 роки, наведена на рис. 2.1 та 2.2.

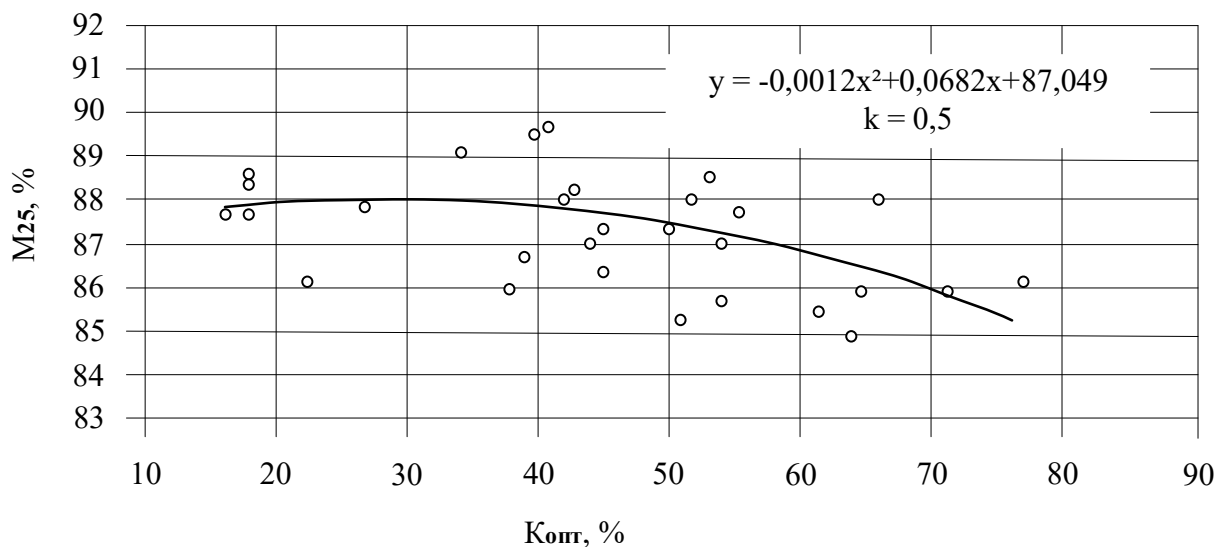


Рис. 2.1. Взаємозв'язок між показниками $K_{\text{опт}}$, та M_{25} українських коксохімічних підприємств в 2010-2011 роках

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34-35]

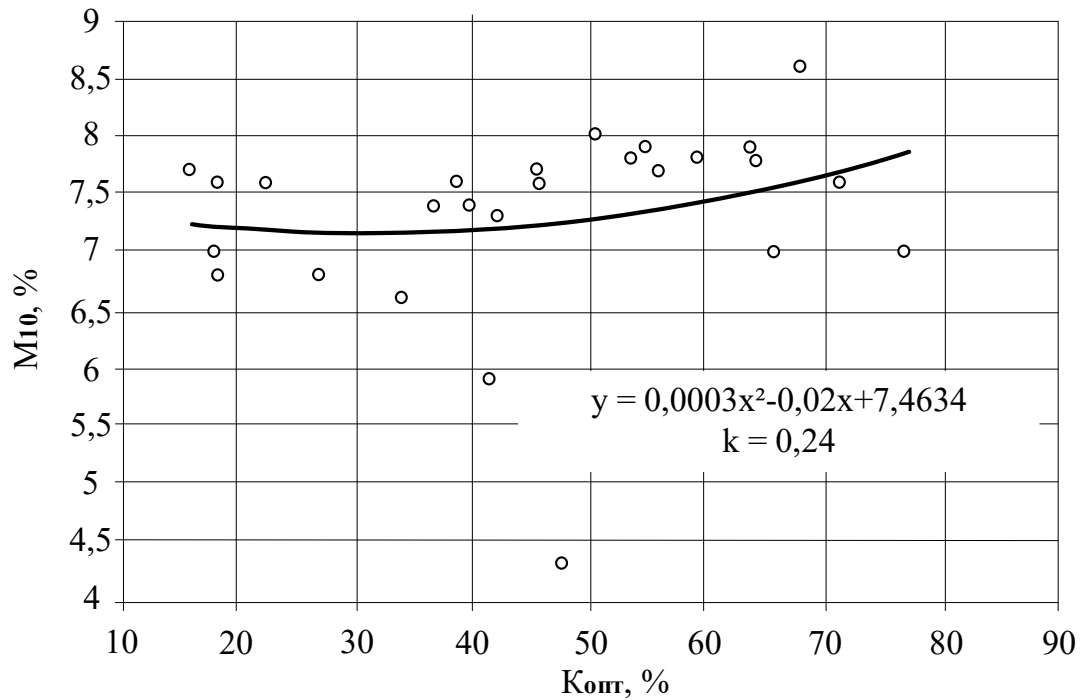


Рис. 2.2. Взаємозв'язок між показниками $K_{\text{опт}}$, та M_{25} і M_{10} українських коксохімічних підприємств в 2010-2011 роках

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [34-35]

Таким чином, зазначена невідповідність взаємозв'язку поліпшення якості коксу з ростом коефіцієнта оптимальності також ілюструється залежностями, наведеними на рис. 2.1. та 2.2.

2.1.1 Дослідження марочного складу вугільної шихти КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” за показником $K_{\text{опт}}$

Аналіз зміни коефіцієнта оптимальності вугільної шихти на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” з урахуванням даних, наведених в роботі [25], також свідчить про низький рівень оптимізації марочного складу вугільної шихти та нестабільності сировинної бази коксування підприємства. Так, якщо в 2004 році $K_{\text{опт}}=63,4\%$, а в 2005 $K_{\text{опт}}=53,7\%$, то в 2010 році $K_{\text{опт}}=67,9\%$, а в 2011 році відбулося досить різке зниження $K_{\text{опт}}$ до $38,5\%$. Протягом 2011 року на коксохімічне виробництво “АрселорМіттал Кривий Ріг” надходили

вугільні концентрати різних постачальників України, Росії, Казахстану і далекого зарубіжжя (корпорації “АрселорМіттал”)

Так як спікливість вугілля, що коксується по товщині пластичного шару (y , мм) дослідники далекого зарубіжжя (крім індійських) не визначають [36], то в якості класифікаційного показника при встановленні відповідності марочної приналежності американських концентратів відповідно до ДСТУ 3472:2010 “Вугілля буре та антрацит. Класифікація” був обраний вихід летких речовин (V^{daf} , %).

Сертифікатні значення виходу летких речовин марок імпортного вугілля мали наступні значення V^{daf} , %: MV Blend - 29,0; Shoal Creek - 26,5-29,0; Clear Creek - 28,0; Mechel Creek - 29,0; Toms Run, Xcoal - 29,0; HV INR - 35; HV Blend - 35,5; High Volatile Fluid Coal - 35,0. Отже марки імпортного вугілля групи HV відповідають українському вугіллю марок ДГ і Г, а всі інші розглянуті марки - вугіллю марок К та Ж

За добовими даними про роботу КХП “АрселорМіттал Кривий Ріг” за 2011 рік був визначений коефіцієнт оптимальності K_{opt} за методикою, викладеною в роботі [33], з урахуванням запропонованих оптимальних значень коефіцієнтів 43, 37 і 23 при розрахунку значень K_o , K_k й $K_{ж}$, відповідно, і проаналізовано вплив даного показника на механічну міцність коксу КХП за показником M_{25} (рис. 2.3).

Як видно з рис. 2.3, для умов роботи КХП в 2011 році, також отримана зворотна залежність, тобто із збільшенням K_{opt} показник міцності коксу M_{25} не збільшується, а знижується. На мою думку така відмінність отриманих результатів і даних, наведених в роботах [25, 33], може бути обумовлена, поперше, тим, що ряд концентратів окремих вуглезбагачувальних фабрик, маркується у посвідченні як вугілля однієї марки, фактично є сумішшю вугілля різних марок. По-друге, тим, що для конкретних умов роботи коксохімічного заводу необхідно визначати оптимальний марочний склад шихти орієнтуючись, при цьому, на максимальні значення показників якості отриманого на підприємстві коксу.

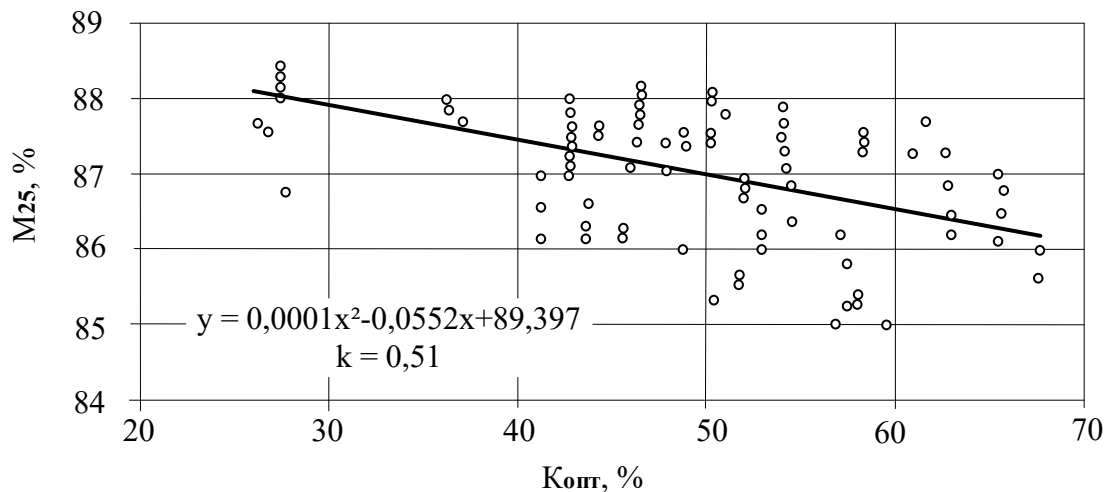


Рис. 2.3. Залежність механічної міцності коксу від коефіцієнта оптимальності

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [25-33]

Таким чином, виконане дослідження оптимальності марочного складу вугільної шихти підтвердило невідповідність взаємозв'язку поліпшення якості коксу з ростом коефіцієнта оптимальності.

2.2 Обґрунтування необхідності виконання рефлектограмного та петрографічного аналізів вугільної шихти

У зв'язку з тим, що фактичний склад шихти радикально відрізняється від того, який дається в завданні на дозування компонентів, що входять до неї, важливе значення має правильне визначення і підбір марочного складу, який повинен ґрунтуватися, перш за все на даних петрографічного і рефлектограмного аналізів вугільної шихти. Встановлений за допомогою даних петрографічного аналізу компонентний склад шихти дозволяє, перш за все, оцінити істинну кількість вугілля марок Ж, К і ПС, які визначають технологічну цінність шихти в цілому, а також кількість неспікливих складових, що припадають на ці компоненти. Фактичний марочний склад шихти за участю концентратів іноземних постачальників також має визначатися з урахуванням рефлекторами вітринітової складової шихти [37].

В даний час на коксохімічному виробництві ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” фахівцями ОТК КХП та ЦЛ КХП проводиться постійний контроль вугілля і шихт з визначенням технічного, пластометричного і петрографічного аналізів, гранулометричного складу та насипної маси шихти, а також показників якості коксу. Крім того на КХП використовують розроблені УХІН [38] комплексні петрографічні показники $S_{ш}$ (спікливість) й $K_{ш}$ (коксівність). Для отримання металургійного коксу високої якості $M_{25} \geq 88\%$ й $M_{10} \leq 7$, а $K_{ш} > 3,7$, величини зазначених показників властивостей шихти повинні бути $S_{ш} \geq 53$, а $K_{ш} \geq 3,7$.

Чим вища величина комплексного показника $S_{ш}$, тим кращі міцнісні характеристики коксу, одержуваного з цієї шихти. У свою чергу, чим вище показник $K_{ш}$, тим більша ймовірність при інших рівних умовах отримати малостираний і малодробимий кокс. Показники $S_{ш}$ і $K_{ш}$ дозволяють дати узагальнюючу кількісну оцінку петрографічних характеристик вугільної шихти, що включає в себе дані визначення мацерального складу і рефлектограмного аналізу. Різним маркам вугілля відповідають наступні інтервали значень показника відбиття вітриніту (R_o), %: ДГ - 0,5-0,65; Г - 0,65-0,89; Ж - 0,9-1,19; К - 1,2-1,39; ПС - 1,4-1,69; П- 1,7-2,59 та А-> 2,6 [38]

На коксохімічне виробництво “АрселорМіттал Кривий Ріг” вугільні концентрати раніше надходили з різних басейнів України і далекого зарубіжжя (корпорації “АрселорМіттал”). Вугільні концентрати України (Донбасу) мають високий рівень спікливості, коксівності і характеризуються високою і середньою сірчистістю та широким діапазоном зольності. На фабриках Донецька збагачується значна кількість вугілля різних марок, що обумовлює неоднорідність вугільних концентратів за марочною приналежністю. Вугільні концентрати корпорації “АрселорМіттал”, що надходять з басейнів Америки і Канади, характеризуються високою спікливістю, низькою сірчистістю і зольністю, високим виходом летких речовин. Аналізуючи якість вугільних концентратів, що надходять на підприємство, можна стверджувати, що вимоги до якості концентратів мають

невідповідності за якісними показниками. У табл. 2.3 наведено дані показників технічного аналізу деяких концентратів за сертифікатом та вхідним контролем.

Таблиця 2.3.

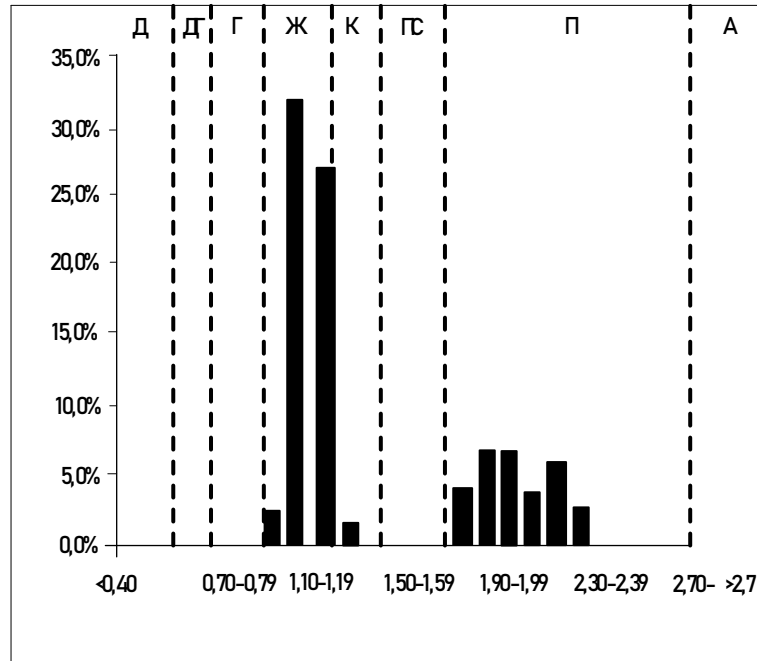
**Невідповідності технічного аналізу вугільних концентратів на ПАТ
“АрселорМіттал Кривий Ріг»**

Марка вугілля	ЦЗФ	Сертифіковані дані, %				Вхідний контроль, %			
		W^r_t	A^d	S^d_t	V^{daf}	W^r_t	A^d	S^d_t	V^{daf}
Г	Добропільська	9,3	8,8	1,86	38,3	7,7	8,1	1,91	39,5
Ж	Київська	11	9,0	1,9	31	12	9,4	1,38	31,6
К+КЖ	Східна	6,4	11,3	0,6	25,06	9,7	9,4	1,45	30,4

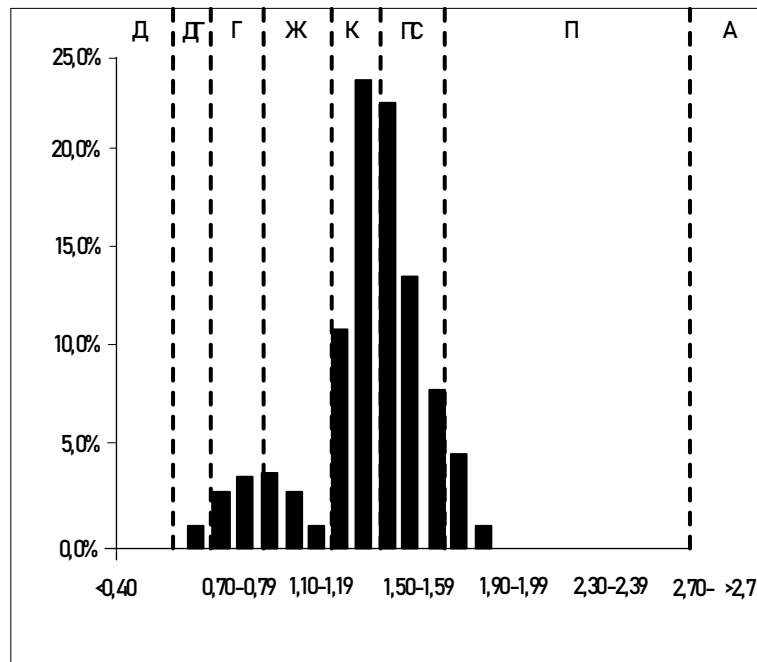
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [25-33]

Рефлектограмний аналіз найбільш точно характеризує марочну належність вугільних концентратів. Рефлекторами деяких вугільних концентратів представлені на рис 2.4.

Згідно наведених вище рефлектограм, вугілля марки К ЦЗФ Укркокс (а) представлено сумішшю марок Ж і П, в сертифікаті заявлена марка К. Аналізуючи технічний аналіз, зокрема вихід летких речовин, в даній пробі він склав 23,8 %, що відповідає марці К. Товщина пластичного шару даної проби також підтверджують марку К ($y=13$ мм). Що стосується вугільного концентрату Укркокс К постачальник ТОВ “Інкомтрейд” (б), то він також представлений сумішшю марок Г, Ж, К, ПС. Вихід летких речовин склав 24,6 %, товщина пластичного шару - $y=13$ мм, що відповідає марці К



а)



б)

а) Укркокс марка К постачальник ТОВ “Технологія”; б) Укркокс марка К постачальник ТОВ “Інкомтрейд”

Рис. 2.4. Рефлекторами випробувань вугільних концентратів

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [25-33]

При коксуванні даного вугілля, міцнісні характеристики коксу будуть низькими, через розбіжність температур пластичного шару суміші вугілля, а в першому випадку марка П, що входить до складу вугілля взагалі не спікається.

Не дивлячись на те, що класифікація вугілля за марками, яка використовується при побудові рефлектограм умовна (згідно анотації УХІН), з неї видно, що вугільний концентрат неоднорідний і штучно приготований, тому являє собою суміш вугілля марок Ж і П, в природі такої комбінації не існує. Таким чином, технічний аналіз не дає повної інформації про спікливість і коксівність даних вугільних концентратів. Тільки за допомогою петрографічного аналізу можна визначити фактичний марочний склад вугільної шихти, її спікливість і коксівність, а також спрогнозувати якісні показники коксу. Цим і обґрунтовується необхідність проведення випробувань із визначення середнього показника відбиття вітриніту і петрографічного складу, а також рефлектограмного аналізу вугільних концентратів, з яких складається шихта [39].

2.2.1 Апаратура для визначення петрографічних характеристик

Для визначення середнього показника відбиття вітриніту, петрографічного складу і окиснення у вугіллі на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” застосовується петрографічний комплекс LUCIA фірми “LECO”. Дане обладнання використовують також для побудови рефлектограм складу досліджуваних вугільних концентратів і вугільних сумішей. Загальний вигляд петрографічного комплексу наведено на рис 2.5. До складу комплексу LUCIA входять: комп’ютер (системний блок, клавіатура, дисплей, миша) з механізмом захоплення кадру, принтер, камера і моторизований растровий мікроскоп ВХ-51. Прикладне програмне забезпечення, працююче при програмному забезпеченні аналізу загального зображення LUCIA.



Рис. 2.5. Загальний вигляд петрографічного комплексу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [25-33]

Для визначення петрографічних характеристик вугілля використовують аншлиф-брикет, при приготуванні якого застосовується допоміжне обладнання: прес PR-32 для підготовки зразків, шліфувально-полірувальна машина GPX300. Для приготування аншлифів-брикету необхідно просіяти

пробу вугілля через сито № 1,6 мм скоротити методом квартування до 50 г. Відбирають пробу вугільного концентрату згідно ГОСТ 9414.2-93. Пробу масою 50 г висипають на металевий лист, ретельно перемішують і розрівнюють таким чином, щоб вийшов шар товщиною близько 5 мм. Поверхню шару поділяють на квадрати розміром 20x20 мм. З кожного квадрату шпателем відбирають пробу вугілля з розрахунком, щоб вона заповнила мірко-приймач (близько 11 грамів) і змішують із такою ж за обсягом кількістю сполучної речовини для приготування брикету. Помішують в прес PR-32, де суміш лусіта і вугілля нагрівається і спресовується [39]. Приготований брикет відшліфовують і відполіровують за допомогою шліфувально-полірувальної машини GPX300 (рис.2.6).



Рис. 2.6. Шліфувально-полірувальна машина

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [25-33]

Готовий аншліф-брикет аналізують. Сутність методу вимірювань середнього показника відбиття вітриніту на петрографічному комплексі LUCIA полягає у вимірюванні інтенсивності відображення частинок вітриніту за рівнем сірого кольору. Кожному відтінку сірого кольору відповідає певний показник відбиття. Чим більша інтенсивність частинки вітриніту, тим вищий показник відбиття. Сутність методу визначення петрографічного складу полягає у дослідженні аншліф-брикетів під мікроскопом у відбитому світлі та ідентифікації мацералів в імерсійному

середовищі, порівняння їх за показником відбиття, кольором, морфології, висоті мікрорельєфу, структурі, ступеня її збереження, а також за розмірами [40].

2.3 Дослідження марочного складу шихти та якості коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Протягом 2011-2015 року в шихтах коксохімічного виробництва «АрселорМіттал Кривий Ріг» що йдуть на коксування, вміст вугілля марки Ж доходив до 89 %. Дроблення шихта у вуглепідготовчому цеху здійснюється за схемою ДТП, тобто дробити окремо навіть частину вугілля марки Ж для його самоопіснення до подачі у шихту не має можливості. У зв'язку з тим, що у 2011 році ступінь подрібнення шихти в цеху змінювався від 76 до 89 %, а вміст вугілля марки Ж від 56 до 89 %, стало можливим проаналізувати вплив двох факторів на якість коксу. На рис. 2.7 наведена залежність показника міцності коксу M_{25} від вмісту в шихті вугілля марки Ж в діапазоні від 56 до 89 % (за результатами петрографічного аналізу у 2011 році) [41].

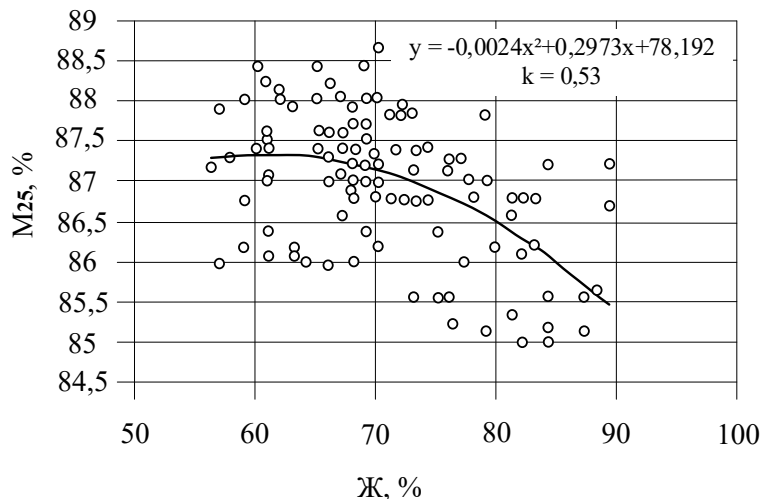


Рис. 2.7. Залежність показника міцності коксу M_{25} від вмісту в шихті вугілля марки Ж

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

З рис. 2.7 видно, що при зміні ступеня подрібнення шихти в діапазоні від 76 до 89 % збільшення в шихті марки Ж більше за 60-70 % приводить до

зниження показника міцності коксу M_{25} . В той же час, якщо проаналізувати залежність показника міцності коксу M_{25} від ступеня дроблення шихти у вказаному діапазоні (рис. 2.8) при вмісті в шихті вугілля марки Ж 70-89 %, то видно, що міцність коксу зростає зі збільшенням ступеня дроблення шихти. Таке збільшення міцності коксу обумовлено “самоопісненням” шихти.

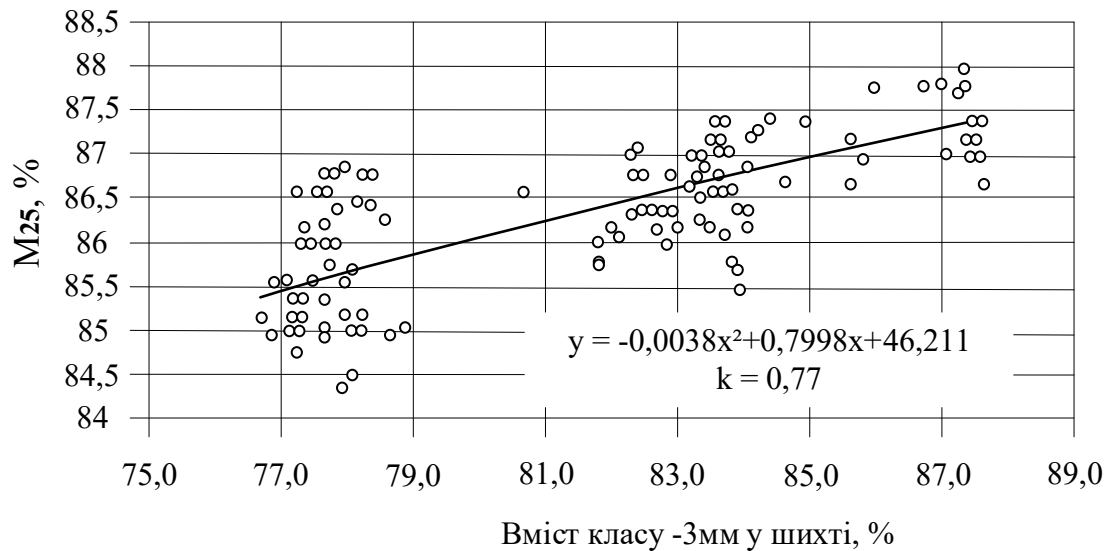


Рис. 2.8. Залежність показника міцності коксу M_{25} від ступеню дроблення шихти при вмісті в ній вугілля марки Ж 70-89 %

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

За даними рис. 2.9 видно, як змінювався вміст опіснюючого класу $<0,5$ мм при збільшенні ступеня дроблення шихти з вмістом жирного вугілля в діапазоні 70-89 %, а з рис. 2.10 видно, що у промислових умовах при високій жирності шихти, її самоопіснення призводить до покращення якості коксу. Так, підвищення вмісту в шихті опіснюючого класу $<0,5$ мм від 37 до 47 % в середньому призводить до підвищення M_{25} від 85,6 до 87,3 %.

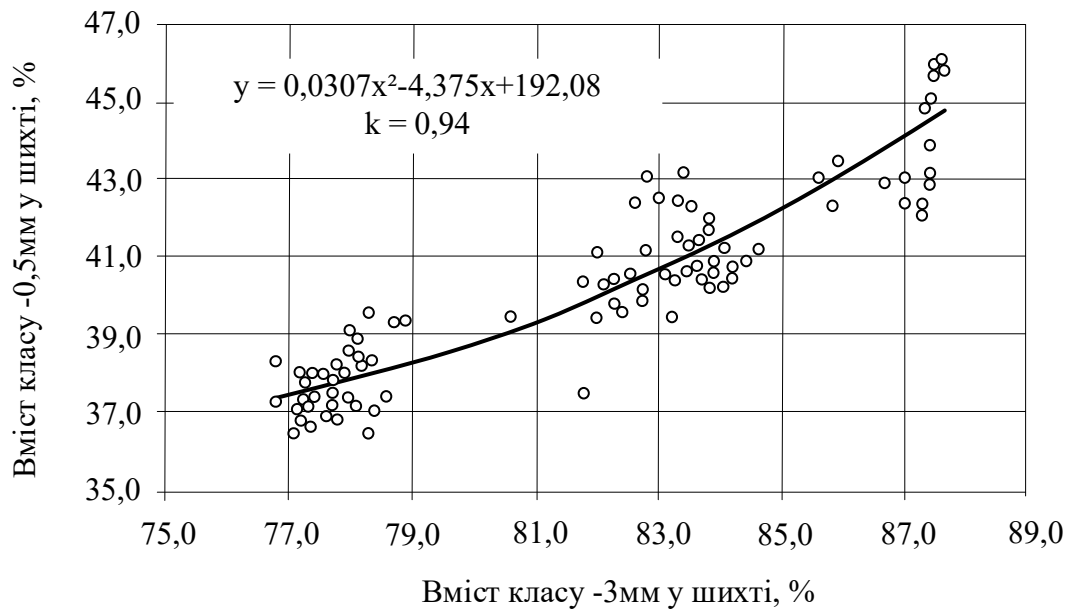


Рис. 2.9. Залежність вмісту опіснюючого класу $<0,5$ мм від ступеню дроблення шихти при вмісті в ній вугілля марки Ж 70-89 %

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

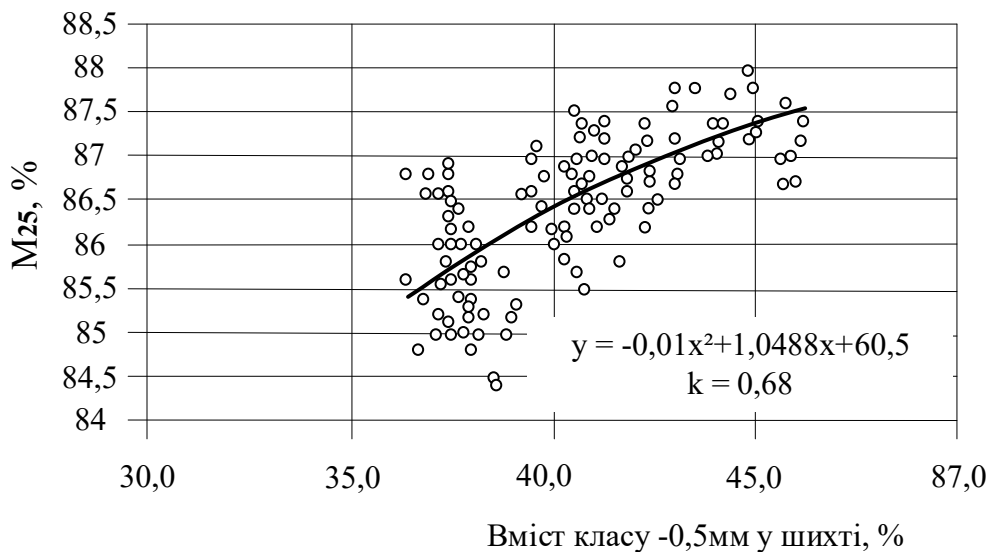


Рис. 2.10. Залежність показника міцності коксу M_{25} від вмісту класу $<0,5$ мм в шихті при вмісті в ній вугілля марки Ж 70-89 %

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

Необхідно підкреслити, що зниження спіклivosti цінного вугілля марки Ж шляхом його самоопіснення для підвищення якості коксу є вимушеним заходом у разі його надлишку у шихті, а не рекомендованим

раціональним методом підготовки шихти до коксування. Якщо шихта відрізняється підвищеною спікливістю, то її можна зменшити, використовуючи в сумішах опіснюючі добавки. Як відомо, с жирним вугіллям доцільно поєднувати газове вугілля. Крім того, в даний час при дефіциті вугілля марки ПС доцільно збільшувати частку газового вугілля в шихті. У вугільних шихтах необхідно підтримувати оптимальний вміст вугілля марки Ж на рівні не вищому за 40-50 % та додатково вводити в шихту до 30 % вугілля марки Г [42]. Одним із найбільш наочних прикладів такої технології може служити досвід Баглійського коксохімічного заводу, де у свій час провели промислові коксування шихт різного складу з підвищеною до 70 % часткою вугілля зниженої спікливості. Кількість газового вугілля збільшили з 29,5 до 56 % при зниженні вугілля марок Ж та К відповідно від 39 до 21 % та від 17 до 9 %. Частку вугілля марки ПС змінили у межах 13-18 %. Ступінь подрібнення шихти за вмістом класу <3 мм був 78,2-80,0 %. Якість коксу при збільшенні частки вугілля зниженої спікливості погіршувалась, але своєчасне коригування ступеня подрібнення шихти дозволило зберегти якість коксу на достатньо високому рівні. Так, при вмісті вугілля марки Г 29,5 % показники M_{25} та M_{10} склали відповідно 88,7 % та 5,5 %, а при вмісті Г 56 % якість коксу знизилась по M_{25} до 85,3 %, по M_{10} до 7,3 %. У 2011 році в шихті КХП “АрселорМіттал Кривий Ріг” вміст вугілля марки Г за результатами петрографічного аналізу змінювався від 0 до 22 % та, як це видно з рис. 2.11, збільшення вмісту цього вугілля в шихті до 15 % приводило до підвищення показника M_{25} при зниженні високого ступеня “ожирнення” шихти [41]. На думку авторів [41], покращення якості коксу шляхом дроблення цінної та дефіцитної марки вугілля Ж не представляється раціональним через погіршення властивостей вугілля та додаткових витрат електроенергії на операцію дроблення. Тому, з метою досягнення необхідної якості коксу для сучасної доменної плавки $M_{25} > 90$ % та $M_{10} < 6$ % необхідно складати шихту шляхом оптимізації її марочного складу, вводячи до неї потрібну кількість тієї чи іншої марки вугілля.

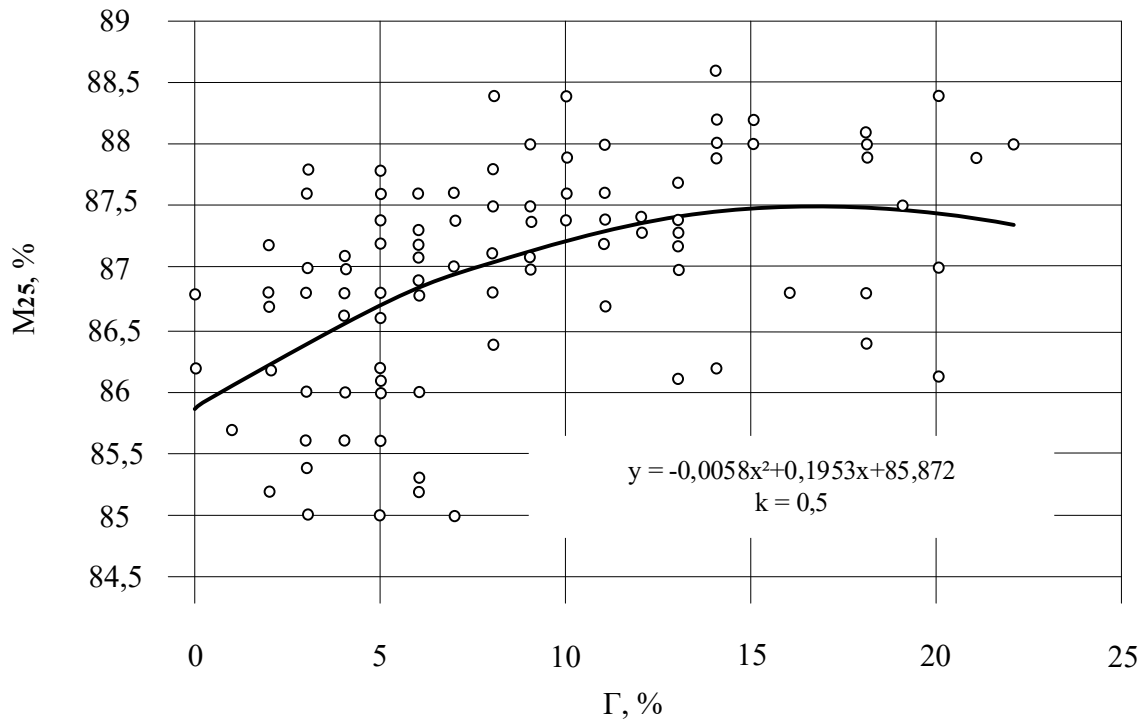


Рис. 2.11. Залежність показника міцності коксу M_{25} від вмісту в шихті вугілля марки Г

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

2.4 Розробка методики оптимізації марочного складу вугільної шихти для умов роботи КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”

Динаміки зміни показників M_{25} та $M_{ю}$ коксу, виробленого на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” протягом 2011 року приведені на рис. 2.13-2.14.

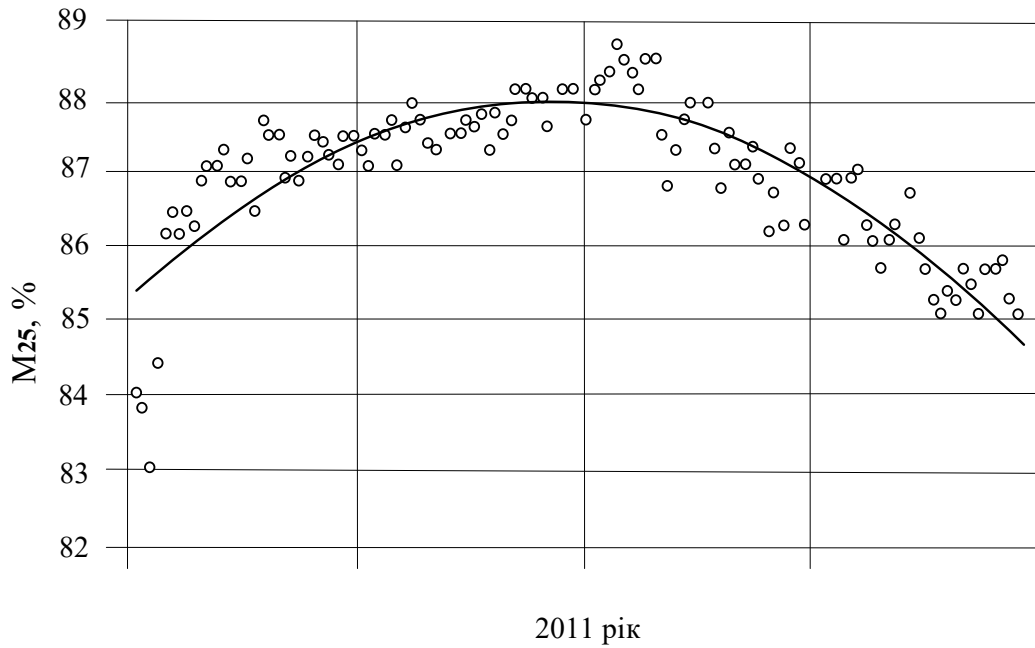


Рис. 2.12. Динаміка зміни показника M_{25} коксу, виробленого на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” протягом 2011 року

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

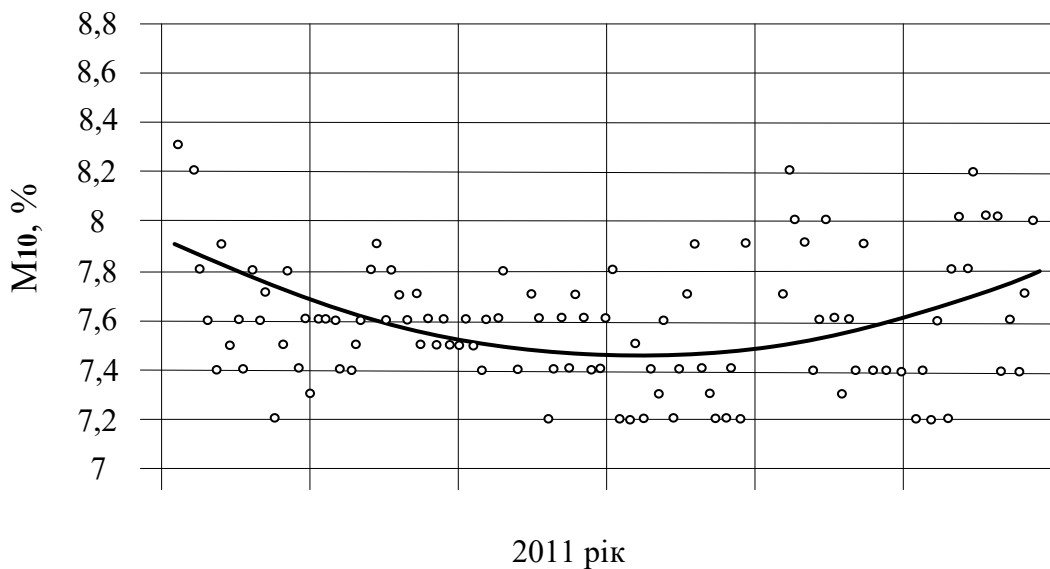


Рис. 2.13. Динаміка зміни показника M_{10} коксу, виробленого на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” протягом 2011 року

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

Як видно з рисунків 2.12-2.13, у 2011 році у другій половині липня на 1-4 батареях на КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” був отриманий кокс з

кращими показниками механічної міцності, в середньому за період M_{25} -88,3 % і M_{10} - 7,2 %. Шихта в цей період характеризувалась наступними показниками: $W=7,6$ %, $y=0,787$ т/м³, а вміст класу 3-0 мм 87 %, вміст “пісного” класу 0,5 мм 46 %, $y=18$ мм, $R_o=1,11$ %, $C_{ш}=58,4$; $K_{ш}=2,5$. Відповідно до маркувань в посвідченнях постачальників марочний склад вугільної шихти був наступним, %: К 31, К+КЖ 16, Ж 12, MV Blend 25, Mechel Creek 5, Toms Run, Xcoal 11. Фактичний марочний склад шихти, визначений за рефлектограмою вітринітової складової в цей період був наступним, %: Г 14, Ж 65, К 14, ПС 7. Цей марочний склад, незважаючи на підвищений вміст вугілля, що відповідає марці Ж, було прийнято в якості оптимального при розрахунках коефіцієнта $K_{от}$, який ми пропонуємо розраховувати з урахуванням фактичного марочного складу вугільної шихти, що визначається при проведенні рефлектограмного аналізу, позначивши його $K_{опт(Vt)}$ [42]. При виконанні досліджень показник розраховувався як добуток коефіцієнтів оптимальності за чотири параметрами:

Розрахунок показника оптимальності $K_{опт(Vt)}$

$$K_{опт(Vt)} = 100 \cdot (K_{Г} \cdot K_{Ж} - K_{К} \cdot K_{ПС}), \% \quad (2.1)$$

де $K_{Г}$ - коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 0,65-0,89 %, тобто відповідних марці Г:

$$K_{Г} = (\sum V_{tR_o=0,65-0,89} - 14)/100, \quad (2.2)$$

де $K_{Ж}$ - коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 0,9-1,19 %, тобто відповідних марці Ж:

$$K_{Ж} = (\sum V_{tR_o=0,9-1,19} - 65)/100, \quad (2.3)$$

де $K_{К}$ - коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 1,2-1,39 %, тобто відповідних марці К:

$$K_k = (\sum V t_{R_o=1,2 \div 1,39} - 14) / 100, \quad (2.4)$$

' де $K_{пс}$ - коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 1,4-1,69 %, тобто відповідних марці ПС:

$$K_{пс} = (\sum V t_{R_o=1,4 \div 1,69} - 7) / 100, \quad (2.5)$$

У рівняннях (2.1-2.5) величини відповідно 14, 65, 14 і 7 прийняті в якості оптимальних, а відхилення від них фактичних значень відповідних складових вітриніту підраховуються без урахування знаків \pm , тобто за абсолютними величинами. Відповідно до запропонованої методики в умовах КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” встановлено взаємозв'язок механічної міцності M_{25} з показником $K_{опт(vt)}$ (рис. 2.14).

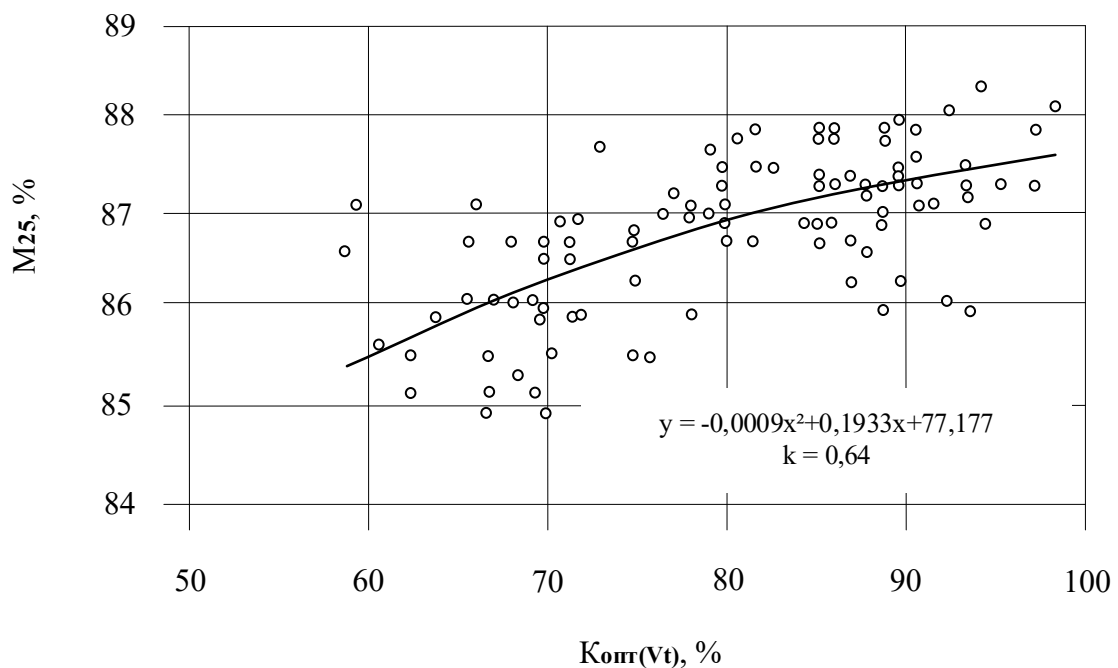


Рис. 2.14. Залежність механічної міцності коксу M_{25} від $K_{опт(vt)}$

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [41]

Отримані результати свідчать про більш тісний взаємозв'язок $K_{опт(vt)}$ з показниками якості коксу, у порівнянні з аналогічними зв'язками для запропонованого раніше коефіцієнта $K_{опт}$. Крім того, при використанні

запропонованого коефіцієнта оптимальності відновлений логічний зв'язок підвищення якості коксу зі збільшенням показника $K_{\text{опт}(Vt)}$.

Таким чином, виконані дослідження підтвердили необхідність застосування петрографічного і рефлектограмного методів аналізу з метою контролю фактичного марочного складу вугільної шихти при його оптимізації. При цьому базовий вміст вугілля різних марок, при визначенні коефіцієнта оптимізації, необхідно визначати виходячи з періоду отримання коксу високої якості на конкретному коксохімічному підприємстві, яке не може бути загальним для всіх цехів і заводів [42].

Таким чином, на прикладі роботи КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” у 2011 році, можна передбачити, що використання розробленої у даній дипломній роботі методики оптимізації марочного складу вугільної шихти, при інших рівних сировинних і технологічних умовах, дозволить поліпшити якість коксу за показниками M_{25} на 5,6 % і M_{10} на 1,4 %. Поліпшення фізико-механічних властивостей коксу, в свою чергу, у відповідності за наведеними даними табл. 1.1, дозволить знизити питомі витрати коксу в доменній плавці та збільшити добове виробництво чавуну на 7,28 % [44].

2.5 Вибір і розрахунок основного устаткування вуглепідготовчого цеху

2.5.1 Прийом і розвантаження вугілля

Кількість розвантажувальних пристроїв можна розрахувати коли відома продуктивність заводу за шихтою, яка визначається за формулою:

$$\underline{P_{\text{ш}}} = \underline{P_{\text{МК}}} / (\underline{K} \cdot \underline{a_{\text{МК}}}), \text{ Т/рік}, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{МК}}$ – продуктивність заводу з металургійного коксу, т/рік;

$a_{\text{МК}}$ – вихід із сухого валового коксу металургійного коксу (для +25 мм $a_{\text{МК}} = 0,94-0,96$; для +40 мм $a_{\text{МК}} = 0,87-0,89$);

K - вихід валового коксу з сухої шихти (береться з матеріального балансу коксування).

При продуктивності коксохімічного заводу 1,8 млн. т металургійного коксу в рік продуктивність заводу за обраним складом вугільної шихти складе:

$$P_{\text{ш}} = 1800000 / 0,781 \cdot 0,95 = 2426039 \text{ т/рік} \quad (2.2)$$

Далі розрахуємо кількість вагоноперекидачів за формулою:

$$N = P_{\text{ш}}/365 \text{ діб}/24 \text{ год.} / q = P_{\text{ш}}/365 \text{ діб}/17 / (n \cdot g), \text{ шт.} \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ш}}$ – річна продуктивність заводу за шихтою, т/рік;

17 – час роботи вагоноперекидача на добу, год.;

q – продуктивність вагоноперекидача, т/год.;

n – число перекидань вагоноперекидача в годину ($n = 20$);

g - вантажопідйомність вагону, т ($g = 60; 93$ т).

Кількість вагоноперекидачів для вагонів вантажопідйомністю 60 т складе:

$$N = 2426039:365:17:(20 \cdot 60) = 0,33 \text{ шт.} \quad (2.4)$$

За розрахунком приймаємо 1 вагоноперекидач.

Необхідно встановити для видачі вугілля з бункерів вуглеприймання стрічкові живильники. Для розморожування погано спіклого вугілля передбачається гараж, що вміщує одночасно 10 з. д. вагонів. За наступною формулою розрахуємо кількість погано спіклого вугілля:

$$P_{\text{п.с.}} = P_{\text{ш.г.}} \cdot 43/100 = 277 \cdot 43/100 = 119,1 \text{ т/год.} \quad (2.5)$$

де $P_{\text{ш.г.}}$ – годинна продуктивність заводу за шихтою;

43 – вміст погано спікливого вугілля в шихті.

$$P_{\text{ш.г.}} = P_{\text{ш}}/365/24 = 2426039:365:24 = 277 \text{ т/год.} \quad (2.6)$$

2.5.2 Розрахунок вугільного складу

Далі приймаємо закритий вугільний склад. Необхідна ємкість складу визначається множенням добової потреби заводу в шихті на кількість доби за запасом вугілля залежно від відстані до постачальників вугілля.

Розрахуємо добову потребу в шихті:

$$2426039:365 = 6646,7 \text{ т/добу}$$

З урахуванням 10-ти добового запасу вугілля необхідна місткість складу складе:

$$6646,7 \cdot 10 = 66467 \text{ т}$$

Для визначення кількості бункерів закритого складу для кожної марки вугілля та постачальника необхідно ємкість складу розділити на ємкість одного бункера, рівну 2500 т, та помножити на частку у шихті відповідного компонента.

Розрахунок кількості бункерів для вугілля різних марок відповідно до їх частки в шихті приведено у таблиці 2.4. Частка у шихті визначається з таблиці 2.5 (якість вугілля для матеріального балансу коксування).

Для видачі і дозування вугілля встановлюємо: автодозатори типу ЛДА-100 Т продуктивністю 100-200 т/год.

Таблиця 2.4

Розрахунок кількості бункерів

Марка вугілля	Розрахунок кількості бункерів
Г _(Комсомольська)	$66467 \cdot 0,10 : 2500 = 2,66$; приймаємо 3 б.;
ГЖО _(Черкасов Камень)	$66467 \cdot 0,15 : 2500 = 3,99$; приймаємо 4 б.;
Ж _(Краснолиманська)	$66467 \cdot 0,14 : 2500 = 3,72$; приймаємо 4 б.;
ПС _(Східна)	$66467 \cdot 0,28 : 2500 = 7,45$; приймаємо 8 б.;
ОС _(Узловська)	$66467 \cdot 0,15 : 2500 = 3,99$; приймаємо 4 б.;
ГЖП+Ж _(Печорська)	$66467 \cdot 0,1 : 2500 = 2,66$; приймаємо 3 б.;
ПСКС _{(Сибір):}	$66467 \cdot 0,08 : 2500 = 2,13$; приймаємо 3 б.
Кількість бункерів для добре спікливого вугілля:	$3+4+3+3= 13$ шт.
Кількість бункерів для погано спікливого вугілля:	$4+8+4 = 16$ шт.
Разом приймаємо:	$3+4+4+8+4+3+4 = 29$ бункерів

Примітка. Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.5

Якість вугілля і склад шихти

Збагачувальна фабрика	Марка вугілля	% частка у шихті	Технічний аналіз, %				Товщина пластичного шару у, мм
			$W_{\text{ш}}^{\text{r}}$	$A_{\text{ш}}^{\text{d}}$	$S_{\text{ш}}^{\text{d}}$	V^{daf}	
Комсомольська	Г	10,0	5,6	4,4	1,58	37,8	12
Черкасов Камень	ГЖО	15,0	6,8	5,7	0,36	38,8	12
Краснолиманська	Ж	14,0	5,4	7,7	3,04	37,2	21
Східна	ПС	28,0	7,8	11,2	0,58	25,0	16
Узловська	ОС	15,0	7,6	5,7	0,53	24,7	15
Печорська	ГЖП+Ж	10,0	10,1	8,3	0,97	34,3	13,6
Сибір	ПСКС	8,0	7,0	9,4	0,39	21,0	8
Шихта		100	7,2	11,96	1,0	30,6	14

Примітка. Джерело: розроблено автором

Обираємо склад закритого типу, який буде складатися з 32 бункерів. Приймаємо вугільний склад з 2-х рядків по 16 бункерів по 1 ряду з добре спікливим вугіллям та по 1 ряду з погано спікливим вугіллям в шихті, враховуючи, що для кожної нитки технологічного потоку потрібно мати один порожній бункер. Подача вугілля в бункери з вуглеприймальних ям буде здійснюватися двома стрічковими живильниками, продуктивністю 400 т/год кожний.

2.5.3 Розрахунок устаткування відділення остаточного подрібнення вугілля

За умовами розрахунку в сировинну базу коксування входить вугілля різних вугільних басейнів. Обираємо схему групового подрібнення компонентів. Схема передбачає окреме подрібнення двох груп вугілля з попереднім відсіюванням класу 3-0 мм.

Крупність подрібнення приймається:

- добре спікливого вугілля 70 %;
- погано спікливого вугілля 90 % класу 0-3 мм.

Кількість добре спікливого вугілля складе:

$$P_{д.с.} = 277 \cdot 57 : 100 = 157,9 \approx 158 \text{ т/год.}$$

Для відсіву готового класу крупності 0-3 мм обираємо вібраційний грохот конструкції кафедри МОМЗ КМФ НМетАУ спільно з ТОВ «КВМШ плюс» продуктивністю 300 т/год.

Кількість грохотів складе:

$$N_{гр.} = P_{д.с.} / Q_{гр.}, \quad (2.7)$$

$$N_{гр.} = 158 : 300 = 0,53.$$

Приймаємо до установки 1 грохот.

Далі розрахуємо продуктивність дробарки для дроблення добре спіклого вугілля. Обираємо дробарку ДМРИЄ – 10×10. Її характеристики:

- продуктивність 90 т/год.;
- потужність електродвигуна складає 250 кВт.
- продуктивність дробарки до крупності 70 % класу 0-3 мм при $k = 1,7$

складе:

$$Q = 250:0,8 = 312 \text{ т/год.}$$

$$158:312 = 0,51$$

Дробарка ДМРИЄ – 10×10 буде заповнена на 51 %.

Таким чином, приймаємо для добре спіклого вугілля 1 грохот (та 1 резервний) і 1 дробарку (та 1 резервну) у типу ДМРИЄ – 10×10. У обраної дробарки є значний запас за продуктивністю.

Кількість погано спіклого вугілля складе:

$$P_{\text{п.с.}} = P_{\text{ш.г.}} \cdot 43/100 = 277 \cdot 43/100 = 119,1 \text{ т/год.}$$

Для подрібнення розрахованої кількості погано спіклого вугілля вибираємо до установки молоткову дробарку ДМРИЄ – 14,5×13 з потужністю електродвигуна 630 кВт. Продуктивність дробарки складе:

$$Q_{\text{пс}} = 630:3,1 = 203 \text{ т/год.}$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження:

$$N = 119,1:203 = 0,59 \text{ або } 59 \%$$

Ця дробарка за продуктивністю задовольняє умовам подрібнення погано спіклого вугілля.

Таким чином, за обраною схемою роздільного подрібнення двох груп вугілля (добре і погано спікливого) приймаємо:

а) встановлюємо для подрібнення добре спікливого вугілля 1 грохот (та 1 резервний) і 1 дробарку (та 1 резервну) типу ДМРИЄ – 14,5×13 (продуктивність її за каталогом 90 т/год. потужність електродвигуна складає 250 кВт). У обраної дробарки є значний запас за продуктивністю;

б) для подрібнення погано спікливого вугілля - молоткову дробарку ДМРИЄ – 14,5×13, продуктивність якої 250 т/год з потужністю електродвигуна 630 кВт., а також один робочий грохот і один резервний.

За обраною схемою роздільного подрібнення компонентів, необхідно змішувати шихту в спеціально призначених для цього пристроях: машинах дезинтеграторного типу або машинах організованого змішання, продуктивністю, відповідно, 500 і 1200 т/год. У відділенні змішування проєктованого заводу продуктивністю 277 т/год. передбачається установка 1-ї змішувальної машини дезинтеграторного типу.

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

Завданням охорони праці є створення таких виробничих умов, при яких відсутні фактори, що можуть спричинити який-небудь небажаний вплив на організм працівника, його працездатність і ефективність праці. Основними складової охорони праці є: трудове законодавство, техніка безпеки, виробнича санітарія та протипожежна техніка. В даній дипломній роботі виконані дослідження марочного складу вугільної шихти за $K_{\text{opt}(Vt)}$.

2.6.1 Небезпечні фактори в умовах вуглепідготовчого цеху

Основними небезпечними факторами (ризиками) в умовах вуглепідготовчого цеху, яких слід уникати, є:

1) наявність виробничого шуму, що перевищує нормативні значення, який чинить негативний вплив на органи слуху, нервову систему, концентрацію уваги;

2) наявність у виробничих приміщеннях (цехах) загальної та локальної вібрації, що перевищує допустимі рівнів і часу дії на людину;

3) наявність у вугіллі джерел радіоактивного випромінювання, що перевищують гранично допустимі значення, які можуть чинити негативний вплив на організм людини;

4) запиленість і загазованість повітря робочої зони;

5) вибухо-пожежонебезпека, у тому числі самозаймання вугілля і вугільного пилу;

6) прояви гірничого тиску, раптовий викид вугілля і газу;

7) прориви води та пульпи;

8) забруднення повітряного простору, поверхневих і ґрунтових вод, забруднення й осідання земної поверхні. Вугілля та продукти його переробки мають належати до 1 класу радіаційної небезпеки. Сума відношень питомої активності природних радіонуклідів до мінімально значущої питомої активності не повинна перевищувати одиниці.

Вугілля та продукти його переробки, що мають суму відношень питомої активності природних радіонуклідів до мінімально значущої питомої активності понад одиницю, не можуть використовуватися в господарській діяльності. Зола вугілля та продуктів його переробки може використовуватися в різних напрямках залежно від ефективної питомої активності природних радіонуклідів.

Показниками, що характеризують горючість і пожежовибухонебезпечність вугілля та продуктів його переробки, є температура займання і температура самозаймання.

Вугілля та продукти його переробки належать до групи «горючі (горючі)», здатні самозайматися, а також спалахувати під впливом джерела запалювання і самостійно горіти після його видалення.

Температура займання вугілля і продуктів його переробки має становити не менше 120 °С. Температура самозаймання вугілля і продуктів його переробки повинна становити не менше 50 °С.

Вугілля і продукти його переробки характеризуються схильністю до окиснення і самозаймання.

Вугілля і продукти його переробки можуть утворювати пилоповітряні вибухонебезпечні суміші.

Вибухонебезпечність пилоповітряних сумішей залежить від вологості суміші, крупності пилу, доступу повітря у шар палива, температури довкілля і палива, його природних властивостей.

Найбільш вибухонебезпечною є пилоповітряна суміш із вмістом вугільних частинок розміром менше 0,2 мм.

Для оцінки вибухонебезпечності пилу вугілля та продуктів його переробки мають визначатися критерії вибухонебезпечності та групи вибухонебезпечності палива відповідно Технологічного регламенту, для яких встановлено необхідні засоби вибухопередження та вибухозахисту.

Вихідними даними для розрахунку критерію вибуховості пилу є:

- 1) ситовий аналіз вугілля і пилу;
- 2) технічний аналіз;
- 3) елементний аналіз;
- 4) теплота згоряння.

Якість вугілля і продуктів його переробки має відповідати вимогам до охорони навколишнього середовища.

Для виконання екологічних вимог при видобутку, переробці, зберіганні, транспортуванні, використанні вугілля, забезпечення вихідними даними для аналізу та розрахунків ГДК забруднюючих і шкідливих речовин у повітрі, викидів парникових газів та емісій у навколишнє середовище підприємствам необхідно проводити в установлені строки визначення показників, зазначених у Технічному регламенті (ситовий аналіз вугілля та

пилу, технічний аналіз, елементний аналіз, теплота згоряння), та хімічного складу золи.

Якість вугілля та продуктів його переробки повинна відповідати безпеці вантажів, що перевозяться вантажів, що перевозяться.

Показниками, що характеризують безпеку вантажів з вугіллям і продуктами його переробки, є:

- 1) строк зберігання;
- 2) температура займання;
- 3) температура самозаймання;
- 4) група вибухонебезпечності.

Значення наведених показників повинні відповідати вимогам, зазначеним у додатках Технічного регламенту.

2.6.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у вуглепідготовчого цеху

1. На підприємствах з видобутку і переробки вугілля повинен бути складений план ліквідації аварій, який передбачає негайне введення в дію всіх наявних необхідних сил і засобів для порятунку людей і ліквідації аварій на початковому етапі її виникнення, засобів для рятування людей і ліквідації аварій у початковий період її виникнення.

2. Технологічне обладнання та технічні пристрої, що застосовуються на вугільних підприємствах, повинні забезпечувати безпеку життя, здоров'я людини та охорону навколишнього середовища.

3. Частина обладнання, що рухаються, обертаються, повинні мати захисні огороження, за винятком частин, огороження яких неможливе через їх функціональне призначення.

4. Застосовуване електрообладнання, кабелі та системи електропостачання повинні забезпечувати електробезпеку працюючих, а також вибухо- і пожежобезпеку.

5. Рівні шуму на робочих місцях не повинні перевищувати гранично допустимих значень, наведених у додатку Технічного регламенту.

6. Рівні вібрації на робочих місцях під час роботи обладнання не повинні перевищувати гранично допустимих значень, наведених у додатку до Технічного регламенту.

7. На підприємствах має бути передбачено комплексне знепилювання.

Технологічне обладнання та технічні пристрої повинні бути оснащені пиловидбухозахисними укриттями та засобами пилопригнічення.

8. На підприємствах з видобутку і переробки вугілля, віднесених до небезпечних за вибухами пилу і газу, повинен установлюватися пилогазовий режим. Пилогазовий режим повинен передбачати виконання вимог, що виключають відкладення на поверхні підлог, стін і устаткування вугільного пилу, що у зваженому стані може створити в повітрі вибухонебезпечну концентрацію, а також запобігають скупченню метану повітрі вибухонебезпечну концентрацію, а також запобігають скупченню метану і шкідливих газів, виникненню вибуху всередині обладнання та викиду продуктів вибуху в приміщення.

9. Вміст пилу в робочій зоні не повинен перевищувати 3 клас безпеки (помірно небезпечний) або 4 клас безпеки (малонебезпечний).

10. Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК, наведених у додатку до Технічного регламенту.

2.6.3 Заходи з пожежної безпеки

Системи пожежогасіння є основним засобом боротьби з потенційними пожежами на підприємстві. Щоб системи пожежогасіння працювали надійно, необхідно проводити їх регулярне обслуговування і перевірку:

Регулярно перевіряти працездатність систем пожежогасіння.

Проводити тестування систем пожежогасіння не рідше ніж раз на рік.

Забезпечувати своєчасне обслуговування і ремонт систем пожежогасіння.

Дотримуватися інструкцій з експлуатації систем пожежогасіння.

Для забезпечення безпеки на виробництві необхідно проводити інструктаж і тренування для всіх співробітників, особливо для тих, хто працює з небезпечними хімічними речовинами. Ось деякі рекомендації щодо проведення інструктажу та тренувань:

Проводити інструктаж безпеки для кожного нового співробітника до початку роботи.

Регулярно проводити тренування з евакуації та боротьби з пожежами.

Забезпечити доступність інформації про правила пожежної безпеки на робочих місцях.

Проводити навчання співробітників роботі з пожежними засобами та системами пожежогасіння.

Безпека на виробництві та пожежна безпека - це найважливіший аспект роботи будь-якої галузі. Дотримання правил зберігання та використання небезпечних хімічних речовин, регулярне обслуговування систем пожежогасіння, проведення інструктажу та тренувань для працівників - усі ці заходи допомагають запобігти можливим пожежам і забезпечити безпеку на виробництві. Необхідно дотримуватися всіх зазначених рекомендацій, щоб знизити ризики виникнення пожеж і забезпечити безпеку всіх працівників.

2.7 Висновки до основної частини

В даному розділі розглянуті питання згідно поставлених задач дослідження, відповідно до чого можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що ряд концентратів окремих вуглезбагачувальних фабрик, маркується у посвідченні як вугілля однієї марки, фактично є сумішшю вугілля різних марок, що може бути встановлено тільки за рефлектограмою вітриніту. Тому фактичний марочний склад шихти за

участю концентратів цих вуглезбагачувальних фабрик також має визначатися з урахуванням рефлектограми вітринітової складової шихти. Керуватися при цьому слід розбивкою за марками вітринітової складової, запропонованої УХШом

2. Встановлений за допомогою даних петрографічного аналізу компонентний склад шихти дозволяє, перш за все, оцінити істинну кількість вугілля марок Ж, К і ПС, які визначають технологічну цінність шихти в цілому, а також кількість неспікливих складових, що припадають на ці компоненти. Фактичний марочний склад шихти за участю концентратів іноземних поста чальників також має визначатися з урахуванням рефлекторами вітринітової складової шихти.

3. За добовими даними про роботу КХП “АрселорМіттал Кривий Ріг” за 2011 рік був визначений коефіцієнт оптимальності Кот за методикою, викладеною в літературі і проаналізовано відповідність зміни даного показника з показниками механічної міцності коксу КХП за показником M_{25} .

4. На підставі результатів виконаного статистичного дослідження встановлено, що узагальнюючий показник (K_{opt}), який визначається як коефіцієнт оптимальності співвідношення спікливих, коксівних та пісних компонентів шихти не завжди корелює з якістю коксу.

5. Показано, що для конкретних умов роботи коксохімічного заводу необхідно визначати оптимальний марочний склад шихти орієнтуючись, при цьому, на максимальні значення показників якості отриманого на підприємстві коксу.

6. Обґрунтована недоцільність зниження спікливості цінного вугілля марки Ж шляхом його самоопіснення для підвищення якості коксу, так як цей захід є вимушеним у разі надлишку у шихті цього вугілля, а не рекомендованим раціональним методом підготовки шихти до коксування. Якщо шихта відрізняється підвищеною спікливістю, то її можна зменшити, використовуючи в сумішах опіснюючі добавки. Як відомо, с жирним вугіллям доцільно поєднувати газове вугілля. Крім того, в даний час при

дефіциті вугілля марки ПС доцільно збільшувати частку газового вугілля в шихті.

7. З'ясовано, що покращення якості коксу шляхом дроблення цінної та дефіцитної марки вугілля Ж не представляється раціональним через погіршення властивостей вугілля та додаткових витрат електроенергії на операцію дроблення.

8. Метою досягнення необхідної якості коксу для сучасної доменної плавки $M_{25} > 90\%$ та M_{10} є необхідність складання шихти шляхом оптимізації її марочного складу, вводячи до неї потрібну кількість тієї ж чи іншої марки вугілля.

9. Запропоновано показник $K_{\text{опт}(vt)}$, який дозволяє здійснювати як оперативну оцінку оптимальності складу вугільної шихти, так і прогнозувати механічну міцність коксу.

10. Розроблено методику оптимізації марочного складу вугільної шихти для умов КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” з використанням запропонованого показника $K_{\text{опт}(Vt)}$, який визначається з урахуванням даних петрографічного аналізу та рефлектограми вітринітової складової вугілля.

11. Отримано результати, які свідчать про більш тісний взаємозв'язок $K_{\text{опт}(vt)}$ з показниками якості коксу, у порівнянні з аналогічними зв'язками для запропонованого раніше коефіцієнта $K_{\text{опт}}$. Крім того, при використанні запропонованого коефіцієнта оптимальності відновлений логічний зв'язок підвищення якості коксу зі збільшенням показника $K_{\text{опт}(vt)}$.

Відповідно до запропонованої методики в умовах КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” встановлено взаємозв'язок механічної міцності M_{25} з показником $K_{\text{опт}(Vt)}$.

12. Використання розробленої у даній роботі методики оптимізації марочного складу вугільної шихти, при інших рівних сировинних і технологічних умовах, дозволить поліпшити якість коксу за показниками M_{25} і M_{10} .

Таким чином, виконані дослідження підтвердили необхідність застосування петрографічного і рефлектограмного методів аналізу з метою контролю фактичного марочного складу вугільної шихти при його оптимізації

ВИСНОВКИ

Відповідно до теми роботи в умовах вугледіготовчого цеху КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” розроблена методика оптимізації марочного складу вугільної шихти з використанням запропонованого показника $K_{\text{опт (vt)}}$, який визначається з урахуванням даних петрографічного аналізу та рефлектограми вітринітової складової вугілля.

Запропонований показник $K_{\text{опт (vt)}}$, дозволяє здійснювати як оперативну оцінку оптимальності складу вугільної шихти, так і прогнозувати механічну міцність коксу. Можна передбачити, що використання розробленої у даній роботі методики оптимізації марочного складу вугільної шихти, при інших рівних сировинних і технологічних умовах, дозволить поліпшити якість коксу за показниками M_{25} на 5,6 % і M_{10} на 1,4 %. Поліпшення фізико-механічних властивостей коксу, в свою чергу, дозволить знизити питомі витрати коксу в доменній плавці та збільшити добове виробництво чавуну на 7,28 %. Основними факторами економії є: зниження питомих витрат коксу на 34,5 кг/т чавуну, збільшення продуктивності доменної печі на 7,28 %, а також зниження собівартості чавуну за рахунок зменшення витрат коксу. У зв'язку зі зменшенням витрат коксу пропорційно зменшиться вихід доменного газу. Так як доменний газ являється побічною продукцією в доменному цеху, то вартість тієї частини, яка реалізується споживачам по встановленим цінам, віднімається від витрат на виробництво чавуну. При зменшенні виходу доменного газу вартість доменного газу зменшиться, тобто за рахунок цього фактору собівартість підвищиться 1 т чавуну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рищенко А.І., Шульга І.В. Фактори, що впливають на формування властивостей доменного коксу (огляд). *Вуглехімічний журнал*. 2009. № 3-4. С. 56-64.
2. За матеріалами IV Європейського конгресу з коксохімічного та доменного виробництва. Вимоги європейських доменників до якості коксу. *Кокс і хімія*. 2001. №4. С. 24-26.
3. Товаровський І.Г., Лялюк В.П. Еволюція доменної плавки. - Дніпропетровськ: Пороги, 2001. 424 с.
4. Курунов І.Ф. Екологічні проблеми аглодоменного виробництва. (За матеріалами 4-го Європейського конгресу). *Сталь*. 2001 № 9. С. 13-14.
5. Некрасов З. І. Вимоги до якості коксу для потужних доменних печей. *Кокс і хімія*. 1976. № 2. С. 8-12.
6. Вплив високореакційного коксу на роботу доменних печей. В. П. Лялюк, Шеремет В. А., Листопадов В. С., Колесник А. А., Дмитренко К. А., Тараканов А. К., Касім Д. А. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2011. № 2. С. 22-25.
7. Оцінка факторів, що впливають на показники якості коксу і CRI. *Новини чорної металургії за кордоном*. 2000. № 4. С. 33-37.
8. Улановський М.Л., Мірошніченко Д.В., Дроздник І.Д. Взаємозв'язок показників реакційної здатності та термомеханічної міцності коксу. та ін. *Вуглехімічний журнал*. 2004. № 5-6. С. 46-51
9. Курунов І.Ф. Якість коксу та можливості зниження його витрати в доменній плавці. *Металург*. 2001. №11. С. 39-46.
10. Діденко В.Є. Технологія приготування шихт для коксування.-К.:Вища школа, 1989. 288 с.
11. Вплив оптимізації складу шихти та її зольності на показники якості коксу. Степанов Ю.В., Гілязетдінов Р.Р., Попова Н.К., Махортова Л.А. *Кокс і хімія*. 2005. № 7. С. 14-18.

12. Агроскін А.А. Насипна вага вугілля для коксування. М.: Видавництво АН СРСР, 1956. 176 с.
13. Агроскін А.А. Фізичні властивості вугілля. М.:Металургіздат, 1961. 298 с.
- 14.
14. ДСТУ 3472-96. Вугілля буре, кам'яне, антрацит. Класифікація. Введено вперше з 01.01.1998. К.: Держстандарт України, 1998. 12 с.
15. Довідник коксохіміка: У 6 т. Т. 1. Вугілля для коксування. Збагачення вугілля. Підготовка вугілля до коксування. За загальною редакцією Л. Н. Борисова, Ю. Г. Шаповала. Харків: Видавничий дім «ІНЖЕК», 2010. 536 с.
- 16.Каталімов А.В., Кобяков А.І. Переробка твердого палива. Навчальний посібник для вузів. К.: Видавництво Н. Бочкаревої, 2003. 248 с.
- 17.ДСТУ 3472-96 Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Методи визначення показника відбиття.
18. Ю.А. Золотухін, Н.С. Андрейчиков, Р.Р. Гілязетдінов. Порівняльний аналіз основних факторів, що формують високі показники якості коксу CRI і CSR з шихт «ВНР Steel» і ВАТ НТМК. *Кокс і хімія*. № 6. 2006. С. 18-22.
19. Решетко А.Н., Пермітіна К.С. До питання про вплив окислення на відбивну здатність вітриніту вугілля. Тр.: ВУХІН. 1965. вип.5. С. 40-48.
20. Браун Н.В., Глущенко І.М. Перспективні напрямки розвитку коксохімічного виробництва. М.: Металургія, 1989. 271с.
21. Степанов Ю.В., Попова Н.К., Махортова Л.А. Теорія і практика шихтовки в сучасних умовах. *Кокс і хімія*. 2005. №7. С. 6-10.
22. Скляр М.Г., Старовойт А.Г. Коксове виробництво України - сьогодення і перспективи. *Металургійна і гірничорудна промисловість*. 2000. № 1. С. 15-16.
23. Торяник Е.І., Штромберг Б.І., Кафтан Ю.С. Стан і розвиток сировинної бази коксування України. *Кокс і хімія*. 1977. № 11. С. 31-33.
24. Васильєв Ю.С., Старовойт А.Г., Зубілін І.Г. Удосконалення процесу коксового виробництва з метою поліпшення якості енерговідновлювачів і забезпечення ефективної роботи доменних печей. *Металургійна і*

- гірничорудна промисловість*. 2000. №3. С. 13-15.
25. Улановський М.Л., Ліхенко А.Н. Оцінка вугільних шихт заводів України за коефіцієнтом оптимальності марочного складу. *Кокс і хімія*. 2008. № 7. С. 14-18.
26. Кисельов Б.П., Леушин В.А. Сировинна база коксування Росії. 1. Ретроспектива. *Кокс і хімія*. 1999. № 11. С. 2-9.
27. Prasad HN, Singh BK, Chattejee A. *Cokemaking Int.* 1999. № 2. P. 50-59.
28. Давидзон А.Р., Улановський М.Л. Вміст і склад мінеральних компонентів вугілля - важливий фактор формування якості коксу. *Кокс і хімія*. 2008. № 5. С. 18-21.
29. Улановський М.Л., Мірошніченко Д.В. Вплив мінеральних компонентів вугілля на якість коксу за показниками CRI і CSR. *Кокс і хімія*. 2007. №4. С. 19-23.
30. Золотухін Ю.А., Кукольов Я.Б., Андрейчиков Н.С. Особливості формування вугільної сировинної бази коксування ВАТ НТМК і розробка додаткових критеріїв оцінки її якості. 1. Ящиківі коксування. *Кокс і хімія*. 2005. № 12. С. 2-10.
31. Кисельов Б.П., Серебренников Л.І. Варіанти перспективної бази коксування і можливий склад виробничих вугільних шихт. *Чорна металургія ВАТ «Черметинформація»*. 2004. № 10. С. 38-41.
32. Гайничева Г.Р., Бизова В.І., Назарова Н.Н. Оцінка вугільної сировини. Її вплив на якість коксу та хід доменної плавки. *Кокс і хімія*. 2008. № 10. С. 14-19
33. Об оценке оптимальности состава угольной шихты. Штарк П.В., Степанов Ю.В., Попова Н.К., Ворсина Д.В. *Кокс і хімія*. 2007. № 3. С. 2-6.
34. Підсумки роботи підприємств асоціації «Укркокс» у 2010 році. Українська науково-промислова асоціація «Укркокс». Дніпропетровськ: 2011. 109 с.
35. Підсумки роботи підприємств асоціації «Укркокс» у 2011 році. Українська науково-промислова асоціація «Укркокс». Дніпропетровськ: 2012. 107 с.
36. Золотухін Ю.А., Стуков М.І., Дьомін А.П. Якість вугільної сировинної бази

- коксування. 2. Можливі варіанти поліпшення. *Кокс і хімія*. 2005. № 5. С. 8-17.
37. Іванов Є.Б., Мучник Д.А. Технологія виробництва коксу. К.:Вища школа, 1976. 232 с.
38. Чернишов Ю.А., Овчинникова С.А., Подлубний А.В. Використання петрографічних характеристик і нових комплексних показників для оцінки властивостей вугілля і міжбасейнових шихт ВАТ «Запоріжжкокс». *Вуглехімічний журнал*. 2009. № 1-2. С. 12-20.
39. Постійний технологічний регламент вуглепідготовчого цеху. ТР338-КХ-04-2008. ПАТ «АМКР» КХП. м. Кривий Ріг. 2008.
40. ДСТУ 9414.1-94 Вугілля кам'яне та антрацит. Методи петрографічного аналізу. Частина 1. Словник термінів (ИСО 7404-1-84)
41. Вплив високого вмісту жирних вугілля у шихті для коксування на якість коксу. Лялюк В.П., Ляхова І.А., Соколова В.П., Касім Д.А, Шмельцер Е.О. *Кокс і хімія*. 2013. № 3. С. 18-23.
42. Вплив оптимізації складу вугільної шихти на якість коксу. Лялюк В. П., Ляхова І.А., Соколова В.П., Касім Д.А. *Кокс і хімія*. 2012. №12. С. 13-20.
43. Методичні вказівки для оформлення текстових та графічних документів (посібник з нормоконтролю) для студентів інженерно-технологічного факультету Криворізького металургійного інституту I Уклад.: В.Й. Засельський, Г.Л. Зайцев. -Кривий Ріг: ДВНЗ КНУ КМІ. 2012.75 с.
44. Закон України Про охорону праці. Документ 2694-12, чинний, поточна редакція. Редакція від 18.11.2012, підстава 5459-17. Київ. 14 жовтня 1992 р.
45. Методичні вказівки щодо виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах для студентів усіх спеціальностей. Упорядники: Л. В. Бабенко, Б. Ю. Зосімов. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. 19 с.
46. Постійний технологічний регламент вуглепідготовчого цеху. Паспорт безпеки на шихту вугільну ТУ У 10.1-00190443-032. ПАТ «АМКР» КХП. м. Кривий Ріг. 2008.
47. Шеремет В.О., Каракаш О.І., Маранчук В.Ф. Довідниковий посібник

- керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: навч. посіб. Дніпропетровськ: ПП Ліра ЛТД, 2005. 653 с.
48. Браун Н.В. Перший міжнародний конгрес з коксохімічного виробництва / Н.В.Браун, В.П.Малина, А.П.Фомін. Кокс і хімія. 1988. № 12. С. 59-61. Mott R.A. /R.A.Mott // Fuel. – 1931. – № 10. – P. 424-435.
49. Baum K. /K.Baum // Arch. Eisenhüttenw. – 1932. – P. 263-269.
50. Litterscheidt W. /Litterscheidt W.// Gluckauf. – 1934.– P. 77-84.
51. Farnham R. V. Colliery Guardian. – 1934.– P. 1043-1045.
52. Foxwell G. E. Plastic State of Coal /G. E. Foxwell // Fuel. October. – 1932. – P. 370-377.
53. Lowry H.H. Chemistry of coal utilization / H.H.Lowry // – Y. – 1947. – P. 848-862.
54. Foxwell G.E. /G.E.Foxwell, J.Soc // Chem. Ind. – 1922. – P. 114-125.
55. Agde G. Braunkohle /G.Agde, R.Hubertus // – 1932. – P. 675-680.
56. Swietoslowski W. Przemysl. Chem / W.Swietoslowski, M.Chorazy, B.Roga // 1933. – P. 25-33.
57. Seelkopf K. /K.Seelkopf // Gluckauf. – 1930. – P. 1029-136.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок
Косенко Єва Олександрівна

Автор: **Косенко Єва Олександрівна** / Шмельцер К.О.
Науковий керівник / Експерт

Підприємство
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.



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 частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виявлення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		18
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		75

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію 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		Копія тексту
Порядковий номер	Назва та адреса джерела URL (назва бази)	Кількість джерел/слів (взагалом)
1	https://www.myuniversity.ru/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%B8_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8E%D1%87%D0%B8%D1%85_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D1%85/221572_2481158_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B013.html	52 0.38 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача вищої освіти

Косенко Єви Олександрівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи «Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР»

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 12/16	12.05.25	Кормер	
2	Основна частина	Кормер М.В.	зараховано 12/16	02.06.25	Кормер	
3						
4						

Завідувач кафедри


(підпис)

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« 1 » червня 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 Косенко Єви Олександрівні
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	83 стор.;
таблиць	19;
схем і рисунків	8;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	-.

Якісні відмінності кваліфікаційної бакалаврської роботи:

Кваліфікаційну бакалаврську роботу виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу та теоретичному дослідженню напрямків вдосконалення технології підготовки вугільної шихти до коксування, а саме оптимізації марочного складу вугільної шихти, з метою отримання якісного коксу. Проаналізовано сучасні підходи до оцінки оптимальності марочного складу вугільної шихти за різними критеріями в залежності від існуючої сировинної бази коксування. Розроблена методика оптимізації марочного складу вугільної шихти з використанням запропонованого показника $K_{opt}(V_1)$, який визначається з урахуванням даних петрографічного аналізу та рефлектограми вітринітової складової вугілля.

Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху. Запропонований показник $K_{opt}(V_1)$, який дозволяє здійснювати як оперативну оцінку оптимальності складу вугільної шихти, так і прогнозувати механічну міцність коксу.

Недоліки кваліфікаційної бакалаврської роботи

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 бакалаврської роботи, ступінь самостійності виконання,
Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки, проаналізовано вплив різних факторів на процес алкілування. Здобувач Косенко Є.О. продемонструвала 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 бакалаврської роботи

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

Оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.хім.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

« 12 » 26 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу
 Здобувача вищої освіти Косенко Єви Олександрівни
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск	
Тема кваліфікаційної роботи бакалавра	Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу вугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ «АМКР»
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра	Оцінка оптимальності марочного складу вугільних шихт та якості коксу коксохімічних підприємств України
Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра	Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему. Робота присвячена аналізу та теоретичному дослідженню напрямків впровадження технології підготовки вугільної шихти до коксування, а саме оптимізації марочного складу вугільної шихти з метою отримання якісного коксу. Проаналізовано сучасні підходи до оцінки оптимальності марочного складу вугільної шихти за різними критеріями в залежності від існуючої сировинної бази коксування.
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	<u>Гесєва Тамара Анатоліївна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Гресєва
 (підпис)

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

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

«Вивчення сучасних підходів до визначення оптимального марочного складу бугільної шихти та використання методики оптимізації марочного складу для умов ПАТ

«АМКР»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Косенко Єва Олександрівна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 83 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;
 загальноновживаними 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, Косенко Єва Олександрівна, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

Дата



Підпис

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

Я, Косенко Єва Олександрівна, здобувач III курсу, групи ЗХТ-22ск Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

01.05.2025



Є.Косенко