

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

**Яремаки Олександра Анатолійовича**

на тему Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий керівник

к.т.н.

  
(підпис)

Десна Н.А.

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 14.01.2025 р. № 8

Завідувач кафедри

  
(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

ДУЕТ – 2025

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри **Хімічних технологій та інженерії**

(підпис)

« 15 » січня 2025 року

доцент, к.т.н.  
Шмельцер К.О.  
(посада, вчене звання,  
прізвище ініціали)

**ЗАВДАННЯ**

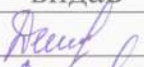



**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ  
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Яремаці Олександрю Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств  
керівник кваліфікаційної роботи магістра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу №796-ст від «21» листопада 2024 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2025 р.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Техніко-економічні показники роботи вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АМКР»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
  - 4.1 Аналітична частина: Розгляд вимог до якості коксу. Аналіз сировинної бази коксування коксохімічного виробництва ПАТ «АМКР». Особливості якісних характеристик і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська».
  - 4.2 Основна частина: Розгляд особливостей якісних показників та технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», що робить це вугілля унікальним. Аналіз досвіду використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» у вугільних шихтах різного складу. Порівнювання показників якості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на початку його видобування та на теперішній час, обґрунтування можливості використання цього вугілля у вугільній базі коксування ПАТ «АМКР». Охорона праці та навколишнього середовища у вуглепідготовчому цеху та шляхів щодо зменшення їх впливу.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Завданням графічний матеріал не передбачений

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання «15» листопада 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

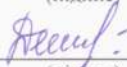
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	29.11.2024	
2.	Основна частина	20.12.2024	
3.	Оформлення пояснювальної записки	27.12.2024	
4.	Подання роботи до кафедри	15.01.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	21.01.2025	

Здобувач

  
(підпис)

Яремака О.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

Десна Н.А.  
(прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Яремака О.А. Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню властивостей вугілля ш. «Покровська», яке збагачується на ЗФ «Свято-Варваринська» та досвід використання його в шихтах для коксування різних коксохімічних підприємств з метою отримання високоякісного коксу.

В випускній кваліфікаційній роботі магістра досліджено основні технологічні характеристики вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» можливості максимального використання цього вугілля в шихтах коксохімічних підприємств України, вміст у вугільних шихта може досягати 75 %, якими показниками якості обумовлено обмеження використання та прийоми протидії.

На підставі аналізу змін якісних показників і технологічних характеристик вугілля досліджено шляхи підвищення використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та досягнення виробництва високоякісного коксу.

Встановлено, що глибше збагачення вугілля, тобто зниження зольності призводить до зниження вмісту загальної сірки і зниженню показника індексу основності, що є наслідком зниження вмісту основних компонентів хімічного складу золи.

В кваліфікаційній роботі проведений аналіз зміни виходу летких речовин і товщини пластичного шару з часом видобутку вугілля та умовами залягання.

*Ключові слова:* коксова піч, коксування, коксовий газ, газозбірник, стояк, перекидний газопровід, клапанна коробка.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Вимоги до якості коксу	8
1.2 Формування сировинної бази коксування України	12
1.3 Початок розробки і дослідження вугілля ш. Покровська	21
1.4 Основні якісні характеристики вугілля ЗФ «Свято-Варваринська»	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	33
2.1 Вплив вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на якість коксу при різній його участі	33
2.2 Вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» основний компонент вугільної шихти	45
2.3 Досвід використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» в сировинній базі ПАТ «АКХЗ»	54
2.4 Аналіз змін якісних показників і технологічних характеристик вугілля ЗФ «Свято-Варваринська»	65
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

## ВСТУП

На формування властивостей коксу суттєво впливає відсоткова участь в шихті для коксування вугілля різних марок та їх спікливість. Склад вугільних шихт підбирають з урахуванням спікливості, виходу летких речовин, вмісту вітриніту в концентратах і показника відбиття його вітриніту.

При складанні шихт для коксування важливо знати, як той або інший компонент впливає безпосередньо на її властивості і на властивості коксу, зокрема на його гранулометричний склад, механічну міцність і вміст шкідливих домішок. Призначене для коксування вугілля підрозділяється на марки і технологічні групи. У кожному марку входить вугілля, що володіє комплексом певних технологічних властивостей. Зокрема вони характеризуються виходом летких речовин  $V^{daf}$  і товщиною пластичного шару  $Y$ .

Метою даної роботи є дослідити зміни показників властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», вплив цих характеристик на властивості вугільної шихти і коксу та проаналізувати оптимальний вміст цього концентрату у сировинній базі коксування коксохімічних підприємств.

Об'єктом дослідження є властивості та якісні показники вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», вплив цих характеристик на якість вугільної шихти та коксу і технологічний процес коксування.

Вугілля ш. Покровська, яка збагачується на ЗФ «Свято-Варваринська» є найбільше і найновіше в Україні вуглезабагачувальне підприємство на даний час єдиним компонентом вугільної шихти марки К видобутим в Україні.

Фабрика – єдиний в країні виробник концентрату класу «Преміум». Підприємство введено в експлуатацію у 2009 році. Виробнича потужність фабрики становить близько 7,9 млн. тон на рік з можливістю збагачення п'яти різних класів вугілля. За 2023 рік на фабриці перероблено понад 5,6 млн. тон рядового вугілля й випущено 3,1 млн. тон концентрату [1].

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Вимоги до якості коксу

Основним видом палива в доменному виробництві є кокс. Це єдиний матеріал, який зберігає форму куска в доменній печі на шляху руху від колошника до горна. Завдяки цьому забезпечується проходження газових потоків крізь шар рідких, напіврідких і твердих матеріалів в доменній печі. В нижній частині печі розжарений кокс утворює своєрідну дренажну решітку, крізь яку в горн стікають рідкі продукти плавки. Звідси виникає основна вимога до якості коксу – висока механічна міцність в холодному і гарячому стані.

Кокс, що завантажується в домену піч не повинен містити дрібних шматків, які погіршують газопроникність шихти, а також дуже великих шматків, які як правило, мають підвищену кількість тріщин і при навантаженні легко утворюють велику кількість дрібних фракцій. Кокс повинен бути в міру пористим для забезпечення оптимального рівня горючості і утворювати велику кількість тепла для забезпечення необхідного рівня температури.

Теплота згоряння коксу залежить від вмісту в ньому вуглецю, це обумовлено вмістом золи, сірки і виходом летких речовин. Крім того зі збільшенням вмісту золи і сірки в коксі збільшується кількість шлаку, витрата тепла на його розплавлення і знижується його механічна міцність, а зі збільшенням вмісту сірки і фосфору в коксі погіршується якість чавуну [1].

Як відомо, підвищення виходу летких речовин в коксі вказує на незавершеність процесу коксування і недостатню впорядкованість структури коксу, а це призводить до зниження механічних властивостей коксу та підвищення реакційної здатності коксу CRI і погіршення післяреакційної міцності CSR.

Кокс – найбільш вартісний складник шихти для виплавки чавуну, і задача скорочення його витрати завжди актуальна. Рішення цієї задачі можливо вирішити двома напрямками – домагатися зниження вартості коксу при незмінно

високій його якості та замінити частину коксу іншими енергоресурсами. Тож постійний пошук ефективного використання різних видів замінників (природний газ, мазут, антрацит, термоантрацит, тощо) призводять до збільшення вимог до якості коксу. Найпоширенішою технологією заміни частини коксу в доменному процесі є використання пиловугільного палива.

Вимоги до якості коксу постійно ростуть у зв'язку з необхідністю зменшення його витрати і поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей. Це обумовлює, у свою чергу, необхідність поліпшення властивостей вугільної шихти. Якість коксу у вирішальній мірі визначається складом і якістю вугільної шихти, у меншій мірі – режимом коксування і конструктивними особливостями коксових батарей. Так, за оцінками зарубіжних і вітчизняних фахівців, частка впливу складу і якості шихти на міцність коксу складає 70%.

Розглянемо вплив зольності, сірчистості і вологості шихти на стабільність властивостей коксу. Як правило, з підвищенням зольності механічна міцність коксу погіршується. Крупні куски породи підвищують тріщинуватість коксу, внаслідок чого зменшується його міцність і крупність. Унаслідок відмінностей коефіцієнтів лінійного розширення породи і напівкоксу крупні куски породи є центрами утворення тріщин в коксі. При вивченні впливу зольності вугілля на фізико-механічні властивості коксу необхідно враховувати характер мінеральних домішок. Дрібні кусочки породи (до 3 мм) підвищують стиранисть коксу. Для отримання зольності коксу в межах не вище 10,5% зольність шихти повинна бути не більше 7-7,5%.

Промислові експериментальні дані свідчать про те, що підвищення зольності вугільної шихти на 0,1% приводить до погіршення показників  $M_{25}$  і  $M_{10}$  на 0,34-0,42% і 0,09-0,12%. Збільшення зольності в крупному концентраті більшою мірою впливає на міцність коксу, ніж у дрібному. Це можна пояснити більш рівномірним розподілом дисперсних мінеральних домішок в зернах дрібного концентрату. Одні і ті ж відхилення зольності шихти не завжди викликають погіршення якості коксу на одну і ту ж величину. Проте для

практичних умов можна вважати, що підвищення зольності шихти на 0,1% погіршує міцнісні характеристики коксу  $M_{25}$  і  $M_{10}$  на 0,3-0,4% і 0,04-0,10%, відповідно. Відхилення зольності в шихті не повинні перевищувати 0,5%. Допустимі межі відхилення зольності коксу – 0,7%.

Окрім негативного впливу на фізико-механічні характеристики коксу, зольність знижує теплоту згорання коксу внаслідок чого зростає витрата коксу. Підвищення зольності на 1% збільшує витрату коксу на 1,2-2% і знижує продуктивність доменної печі на таку ж величину.

Мінеральні вclusions, що знаходяться в коксі, впливають на його реакційну здатність, по-перше, унаслідок їх каталітичної дії на процеси термічних перетворень, що відбуваються у вугіллі у спіненому пластичному шарі, а по-друге, завдяки їх каталітичному впливу на швидкість реагування вуглецю коксу з активними газами.

Сірчистість коксу залежить в основному від сірчистості шихти. Сірка вугільної шихти в значній мірі (45-75%) переходить в кокс. Причому чим вище ступінь метаморфізму, тим більша частка сірки переходить в кокс. При проведенні доменної або ливарної плавки сірка є дуже небажаною домішкою. Потрапляючи в метал, вона різко погіршує його якість, додає йому червоноламкість. Підвищення сірчистості коксу на 0,1% (при вмісті її понад 1,6%) викликає додаткову витрату вапняку на 2%, коксу на 2-3% і знижує продуктивність доменної печі на 1,5-2%. Межі коливання сірчистості шихти і коксу встановлюються – 0,1%. Сірчистість коксу в Україні коливається в межах 0,7-1,6 %.

Таким чином, коливання зольності і сірчистості коксу цілком визначаються їх відхиленнями в шихті.

Отже, допустимі межі відхилень сірчистості вугільної шихти (як і її зольності) повинні встановлюватися з урахуванням коливань цих показників в коксі. Поправочні коефіцієнти можуть бути взяті середні по галузі або ж, що коректніше, вони повинні бути знайдені розрахунковим шляхом безпосередньо для кожного підприємства.

Високі витрати на кокс стимулюють посилення вимог металургів до якості коксу та підштовхують їх до подальшого розвитку в Україні технологій вдування пиловугільного палива (ПВП) у доменному виробництві.

За останні роки технологія ПВП визначає розвиток та ефективність доменної технології, що дозволяє скоротити витрату коксу при виплавці чавуну.

Освоєння технологій з використанням ПВП та інших замінних коксів відновників (вугільний пил, мазут, відпрацьована пластмаса) призвело до збільшення рудних навантажень на кокс з 34 до 57 т/т, що і вимагало значного підвищення якості коксу, особливо за міцністю. Очевидно, що поліпшення якості коксу є найважливішим і необхідним компенсуючим заходом при роботі доменних печей з застосуванням ПВП.

Відомо, що кокс виконує три функції в доменній печі, а саме: палива для плавки чавуну та шлаку; відновлювача заліза і розпушувача, що забезпечує необхідну газопроникність стовпа шихтових матеріалів і нормальний дренаж рідких продуктів плавки. У верхніх горизонтах доменної печі кокс повинен бути реакційним здійсненням реакцій відновлення заліза, у той час як для утримання рудної маси потрібна його низька реакційна здатність і висока міцність.

Функції розпушувача кокс переважно виконує в нижніх горизонтах доменної печі при високих температурах, залишаючись твердим шматковим матеріалом, в той час коли рудні матеріали знаходяться в розм'якшеному стані і у вигляді розплаву. Будь-які інші замінники коксу лише частково можуть приймати він функції відновника і джерела тепла.

Кокс як розпушувач замінити нічим, тому що він єдиний компонент доменної шихти, який залишається в твердій фазі на нижніх горизонтах печі в зоні високих температур і забезпечує потрібну газопроникність засипки і дренаж рідких продуктів плавлення.

## 1.2 Формування сировинної бази коксування України

Коксохімічне виробництво України до 1986 р. забезпечувалося власною вугільною сировинною базою, що дозволяла виробляти доменний кокс з такими показниками якості, %:

– вміст сірки – 1,60-1,80;

Механічна міцність за показниками:

– подрібнення  $M_{25}$  - 86-87;

– стирання  $M_{10}$  - 7,5-8,0.

Такі поняття, як «низька реакційна здатність» і «висока післяреакційна (гаряча) міцність» у вимогах доменного виробництва, що висуваються до металургійного коксу, були відсутні. З другої половини 80-х років минулого століття видобуток українського вугілля, в тому числі і коксівного, почав знижуватися.

Це положення пояснюється, в основному, двома основними причинами: Донбас, залишаючись тривалий час основним вугледобувним басейном коксівного вугілля СРСР, відпрацював верхні горизонти запасів із більш спокійними гірничо-геологічними умовами (до 600 м); подальша розробка запасів цього вугілля пов'язана з глибинами 1000 м і більше. Так, до 2009 року глибина розробки очисних робіт сягнула: шахта ім. Засядька – 1340 м, ДП «Макіїввугілля» – 1322 м, ДП «ДВЕК» – 1298 м, ДП «Артемвугілля» – 1190 м, ВАТ «Краснодонвугілля» – 1170 м і т.д.

Глибокі горизонти зажадали зовсім іншого підходу до виїмки вугілля, так як, цим глибинам відповідають складніші гірничо-геологічні умови: підвищений тиск гірських порід, що загрожує раптовими викидами вугілля і породи, а також підвищена загазованість. У цих умовах суттєво збільшується тривалість підготовки пластів до виїмки вугілля (дегазація, ослаблення гірського тиску тощо), що призводить до значного зростання собівартості вугілля, що видобувається. При цьому великого значення набуває фактор робочої

температури в очисних вибоях (до 38-40 °С), що ускладнює роботу людей на таких глибинах.

Таким чином, перехід на видобуток вугілля на глибоких горизонтах зажадав додаткових капітальних вкладень, які визначаються у програмі «Українське вугілля» на рівні 7-10 млрд. грн. щорічно, а введення нових шахт в експлуатацію можливе лише через 10-15 років.

Другою причиною є тривалий видобуток коксівного вугілля марок Ж і К у кількостях, що істотно перевищують їх пайову участь у запасах. Так, наприклад, за пайовою участю вугілля марок Ж і К у розвіданих запасах 6,0 та 4,4 % (станом на 01.01.2007 р) їх пайова участь у видобутку склала відповідно 14,2 та 12,6 % [2].

Таким чином, цей розрив у перспективі буде змінюватися доти, доки пайова участь вугілля цих марок у видобутку не наблизиться до їхньої пайової участі в запасах вугілля, що є в Україні. Постійне збільшення обсягів виробництва коксу і дефіцит вітчизняного коксівного вугілля призвели до імпорту недостатньої кількості вугілля – насамперед із країн СНД (Росія, Казахстан), а останніми роками і з далекого зарубіжжя (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

### Вугільна сировинна база заводів України У 2014-2021 рр.

Рік	Частка участі, %							
	Україна	Росія	Казахстан	США	Канада	Австралія	Інші *)	Далеке зарубіжжя
2014	46,3	32,5	3,8	11,8	2,1	2,9	0,6	16,8
2015	39,7	29,8	4,3	14,7	5,1	5,6	0,8	25,4
2016	33,1	45,1	3,6	9,6	3,1	4,0	1,5	16,7
2017	22,1	43,9	2,7	20,3	5,7	3,6	1,7	29,6
2018	18,0	45,6	2,7	28,0	5,0	0,6	0,1	33,6
2019	24,8	36,1	5,4	28,0	3,2	1,2	1,3	32,4
2020	26,6	39,8	6,4	26,6	-	-	0,6	26,6
2021	28,2	45,1	6,5	18,5	-	1,5	0,2	20,0

\*) Чехія, Польща, Індонезія

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

Основним експортером коксівного вугілля в Україну, раніше була Росія, на цей час і в перспективі, є США. Таким чином, вже тривалий час імпорт коксівного вугілля здійснюється у зв'язку з гострим дефіцитом вітчизняних ресурсів. Останній викликаний зниженням їхнього видобутку у зв'язку зі старінням чинного шахтного фонду та вибуттям його з експлуатації.

Оновлення шахтного фонду для видобутку коксівного вугілля практично не проводиться. Так, за останні роки минулого століття збудовано єдину шахту «Суходільська Східна» ВАТ «Краснодонвугілля» (марка К) і ведеться нині будівництво другого блоку шахти «Червоноармійська Західна №1» (ш. Покровська). Аналіз якісних характеристик вугілля детально розвіданих марок Ж, К та ПС у Донбасі показує, що їх кількість дуже обмежена, зосереджені вони в основному, на Луганщині, на глибині понад 1000 м. Найбільш перспективна ділянка «Миронівський Глибокий» (марки Ж, К) з глибиною залягання продуктивних пластів на глибині 1540 м та з вмістом сірки 2,0-3,5 %.

За оцінками фахівців інституту Южгіпрошахт вартість будівництва шахти на даній ділянці в цінах 2002 р. становила 2,5-3,5 млрд. грн. Виходячи з викладеного, слід зробити висновок, що суттєве скорочення видобутку коксівного вугілля та відсутність фінансування будівництва нових шахт за високої потреби в коксівному вугіллі зумовило їхній імпорт в Україну, який досяг більш 30% від потреби коксохімічних заводів.

Наприкінці XX – на початку XXI століть доменники суттєво змінили свої вимоги до якості металургійного коксу [3, 4] та чітко визначили роль коксу у доменному виробництві:

- Джерело тепла (енергоносій);
- Постачальник вуглецю для газифікації, відновлення оксидів і навуглержування чавуну (відновник);

- «каркас» для перенесення твердих матеріалів, фільтрації газів і рідких продуктів плавки (розпушувач);

- збирач дисперсних пилоподібних частинок та пари, що утворюються у фурменних осередках (адсорбент);

- Джерело дріб'язку і «сміття», що знижують рідкість шлаків в горні.

Тепло від горіння коксу частково заміщається теплом нагрітого повітряного дуття та інших добавок.

Відновлювальні можливості коксу визначаються його реакційною здатністю. Рівень реакційної здатності промислового коксу впливає пряме відновлення. Роль механічної та термічної міцності коксу зростає зі зниженням його питомої витрати. Тому для досягнення рівня нижче 400 кг/т чавуну першорядну увагу слід приділяти властивостям коксу як розпушувача, що забезпечує достатню газопроникність та дренаж рідких продуктів плавки.

Значення коксу як «каркаса» шихтових матеріалів обумовлює підвищені вимоги до його якості та, насамперед, до механічної та термомеханічної міцності.

Показники механічної міцності (показники дробимості  $M_{25}$  та стирання  $M_{10}$ ) використовуються в практиці роботи країн СНД та України протягом досить тривалого періоду.

Показники термомеханічної міцності були запропоновані фірмою "Nippon Steel" наприкінці 90-х років XX століття і включали реакційну здатність (CRI) та післяреакційну або "гарячу" міцність (CSR) коксу [5].

Орієнтовані на ці показники зарубіжні виробники металу мають суттєво меншу, ніж в Україні, витрату коксу в доменному виробництві. Так, ще у 1998-1999 роках. на 21% доменних печей Європейського співтовариства рівень витрати коксу був стабільно нижчим за 340 кг/т чавуну, а в Північній Америці (США, Канада, Мексика) у цей же період середня витрата коксу становила менше 400 кг/т.

Світовий досвід показує, що найефективніше доменні печі працюють на коксі, що має низьку реакційну здатність (CRI <30-35 %) та високу «гарячу» міцність (CSR > 60- 65%). Особливо ефективно кокс такої якості виявляє себе при

внесенні доменних печей паливних добавок – зокрема, пиловугільного палива (ПУТ).

Негативний світовий досвід виплавки чавуну на коксі низької якості виражаються в наступному:

- робочий профіль доменних печей та горни піддаються більш прискореному зносу;
- скорочуються міжремонтні періоди роботи та зростають витрати на підтримуючі ремонти;
- Збільшується кількість сміття в горні, що тягне за собою збої виробництва, коливання нагріву та підвищені витрати коксу на підтримку рухливості більш в'язких шлаків;
- Зменшуються коефіцієнти заміни коксу топ-ливними добавками;
- Виробництво втрачає стійкість, що призводить до розбалансування процесу і втрати виплавки чавуну.

Численними дослідженнями, проведеними як у нашій країні, і там [5-8], показано, що й рівень механічної міцності коксу впливають властивості органічної частини вугілля (спіканість, коксуемость, дилатація, петрографічний склад), то рівень реакційної спроможності максимальний вплив має хімічний склад їх мінеральної частини, а саме вміст оксидів металів:  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Крім того, важливе значення має рівень вмісту сірки.

У чисельному вираз останній не повинен перевищувати 1%, а індекс основності  $I_o < 2,5$ . Виходячи з цих вимог проаналізовано вугільні ресурси коксівного вугілля України та низки фірм провідних вугледобувних країн світу (Австралія, США, Канада).

Встановлено, що участь у шихтах для коксування малометаморфізованого вугілля марок ДГ та Г підвищує реакційну здатність коксу та помітно збільшує його витрату в доменній печі. Наслідком цього стало суттєве скорочення частки такого вугілля у сировинній базі коксування українських виробників коксу. Так, якщо у 2000-2004 роках пайова участь у шихті газової групи вугілля становила близько 35 %, то 2007 р цей показник становив 13,4 %, 2008 р – 12,9 %, а 2009 р

– 14,8%. Таким чином, стає очевидним, що так чи інакше заміщення цього вугілля у сировинній базі українських заводів (а це 20-25 % від потреби) може здійснюватися за рахунок вугілля марок Ж, К та ПС.

З даних табл. 1.2 видно, що вугілля цих марок мають значення показників, що визначають рівень термомеханічних властивостей коксу (зміст сірки та індекс основності) суттєво нижчий від необхідного.

Таблиця 1.2

### Технологічні властивості українського вугілля

Марка	Технологічні властивості*				R <sub>0</sub> , %	Індекс основності, I <sub>0</sub>
	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %	y, мм		
Ж	<u>8,0-8,4</u>	<u>0,80-3,00</u>	<u>31-35</u>	<u>17-28</u>	<u>0,89-1,07</u>	<u>2,19-8,58</u>
	8,3	2,23	33	22	0,97	5,70
К	<u>8,0-8,5</u>	<u>0,70-2,40</u>	<u>21-29</u>	<u>13-24</u>	<u>1,08-1,37</u>	<u>1,70-5,82</u>
	8,5	1,09	27	16	1,14	3,97
ПС	<u>8,2-8,5</u>	<u>1,20-2,80</u>	<u>17-19</u>	<u>10-12</u>	<u>1,48-1,65</u>	<u>3,24-6,08</u>
	8,5	2,11	18	11	1,51	3,91

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

Технологічні властивості продукції кращих закордонних виробників коксівного вугілля (австралійська компанія BHP-Billiton, американська UNITED COAL COMPANY LLC (UCC), канадські виробники) представлена в табл. 1.3.

\* В чисельнику – діапазон значень, в знаменнику – середнє значення

Таблиця 1.3

**Технологічні властивості вугілля для коксування зарубіжних постачальників**

Країна (фірма)	Технологічні властивості**				R <sub>0</sub> , %	I <sub>0</sub>
	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %	y, мм		
Австралія, ВНР- Billiton	$\frac{9,0 - 10,0}{9,5}$	$\frac{0,3 - 0,8}{0,5}$	$\frac{24 - 28}{26}$	$\frac{18 - 24}{22}$	$\frac{1,20 - 1,30}{1,25}$	$\frac{0,70 - 1,60}{1,25}$
США, УСС	$\frac{6,5 - 8,5}{7,7}$	$\frac{0,5 - 1,3}{0,8}$	$\frac{17 - 31}{28}$	$\frac{10 - 26}{22}$	$\frac{1,18 - 1,67}{1,32}$	$\frac{1,70 - 3,50}{2,30}$
Канада	$\frac{7,5 - 9,0}{8,5}$	$\frac{0,5 - 1,0}{0,6}$	$\frac{22 - 25}{24}$	$\frac{10 - 18}{16}$	$\frac{1,30 - 1,56}{1,50}$	$\frac{1,90 - 3,30}{2,11}$

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

Зіставляючи показники властивостей, що забезпечують високу термомеханічну міцність українського (табл. 1.2) та зарубіжного (табл. 1.3) вугілля, слід зазначити, що українське вугілля має відповідно більший вміст сірки та вельми високий індекс основності порівняно з імпортними аналогами. Саме цим обумовлені вищі показники «гарячої» міцності, що досягаються зарубіжними виробниками коксу (табл. 1.4).

Аналіз геологічних даних про розвідані українські запаси вугілля категорій А+В+С1 показує, що більшість вугілля марок (Ж, К), що спекаються, зосереджено в Луганській області Донбасу на глибині понад 800 м. Вони відносяться до середньо- та високосірчистих (S<sup>d</sup><sub>t</sub> = 2,0-3,8 %) і мають у хімічному складі мінеральної частини 17-35 % найбільш шкідливого для «гарячої» міцності оксиду заліза (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – звичайну кількість, характерну для українського вугілля. Для порівняння, вміст цього оксиду в австралійському вугіллі знаходиться в межах 1- 5 %, а в більшості американського та канадського вугілля – до 10%.

\*\* В чисельнику – діапазон значень, в знаменнику – середнє значення

Таблиця 1.4

**Середні рівні показників «гарячої» міцності (CSR) і реакційної здатності (CRI) коксу різних виробників**

Країна, виробник	CSR, %	CRI, %
Австралія, BHP Steel	74,1	17,7
Великобританія, BSC (Корус)	73,5	18,2
Німеччина, Тіссен Крупп	65,4	23,1
Фінляндія, Коверхар	70,1	22,2
Голландія, Корус	64,5	18,4
Франція, Дюнкерге	55,5	19,0
Швеція, Сааб	62,4	24,1
Японія (середнє значення)	65,2	25,7
Австрія, Фест-Альпіне	62,0	29,7
Бельгія, Сидмар	65,3	23,0
Італія, Таранто	66,4	24,7
Південна Корея, Поско	68,9	22,1
Індія, Тата Стіл	64,1	24,3
Китай, експортний кокс	>60	<25
Польща, експортний кокс	>56	<32
Іспанія, експортний кокс	>60	<30
Чехія, експортний кокс	>56	<35
Єгипет, експортний кокс	>58	<30
США, Акме Стіл	68,0	18,6
Росія, «Алтайкокс», експорт	61,0	29,0
Казахстан, Іспат Кармет	>52	<35
Україна, Ясиновський КХЗ	>50	<35
Україна (середнє значення)	42,0	40,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

У 2005-2009 роках в Україні проведено цілу низку промислових досліджень з коксування шихт з різним рівнем значень індексу основності  $i$ , отже, з різними значеннями показників реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності (CSR). Зокрема, встановлено вплив реакційної здатності та післяреакційної міцності коксу на його витрату та продуктивність доменної печі для умов ВАТ «МК «Азовсталь». Слід зазначити, що на даний час вплив зміни окремих показників якості коксу на його витрату та продуктивність доменної печі оцінюються відповідно до керівного документа «Доменні печі. Нормативи витрати коксу. Керівний документ. МЧМ СРСР. 1987 р.».

Цей документ містить методику розрахунку впливу таких параметрів якості коксу, як зольність ( $A^d$ ), вміст сірки ( $S_t^d$ ), міцність ( $M_{25}$ ), стирання ( $M_{10}$ ), вміст фракції +80 мм, витрата коксу та продуктивність доменної печі. Як видно з наведених факторів, у цьому документі відсутні такі показники, як реакційна здатність (CRI) та післяреакційна міцність (CSR). Однак багато дослідників показують роль цих параметрів [9]. Наприклад, результати роботи доменної печі Швельгерн-2 показали, що зі збільшенням «гарячої» міцності коксу за показником CSR з 54,2 до 68,0 % відбувається зниження сумарної витрати коксу та ПУТ з 510 до 470-486 кг на тонну чавуну (при цьому витрата ПВП збільшився з 132 до 188 кг/т) [10].

В умовах роботи доменної печі № 5 ВАТ «МК «Азовсталь» у 2005 р. було випробувано кокс із близькими якісними характеристиками та різним рівнем «гарячої» міцності [11]. В результаті було визначено, що при збільшенні CSR на 1% питома витрата коксу знижується на 0,25%, а продуктивність доменної печі зростає на 0,63%. У квітні-липні 2008 р. на ВАТ «АКХЗ» була виготовлена дослідна партія коксу покращеної якості класу «Преміум» ( $CRI > 55$  %,  $CSR < 30$  %). Отримана партія була випробувана доменними плавками за умов Єнакіївського металургійного заводу. Заміна виробничого коксу коксом класу «Преміум» дозволила скоротити витратний коефіцієнт доменного коксу на 5% і стільки ж збільшити продуктивність доменної печі [12]. Слід зазначити, що у

світовому обсязі виробництва чавуну близько 85 % доменних печей експлуатуються із застосуванням ПВП, що здешевлює продукцію – насамперед рахунок значного скорочення витрати доменного коксу.

Витрата коксу на металургійних підприємствах України становить 480-550 кг/т чавуну, тоді як у закордонних виробників чавуну цей показник лежить у межах 350-420 кг/т. Ця обставина є наслідком серйозного відставання наших металургійних підприємств у впровадженні технології вдування ПВП: діючі установки є лише на Донецькому МОЗ та Алчевському МК (ДП-1 та ДП-5) [13]. Аналіз роботи доменних печей, які працюють із використанням технології прямого вдування ПВП, показав гостру необхідність її широкого впровадження на підприємствах.

### **1.3 Початок розробки і дослідження вугілля ш. Покровська**

Введений в експлуатацію в 1990 р. перший пусковий комплекс проектною потужністю 1,5 млн т вугілля на рік до 1996 досяг потужності 1,74 млн т, а до 2002 р - 4,6 млн т. Такий вражаючий успіх став закономірним результатом розробки та впровадження принципово нових організаційно-економічних заходів, технічних і технологічних рішень в галузі будівництва та експлуатації шахти, а також результатом прогресивної інвестиційної стратегії вугільної компанії [13]. Про ефективність використаних заходів свідчать дані табл. 1.5. Дані таблиці 1.5 показують, що в даний час кожна друга тонна найбільш цінного вугілля марки К у сировинній базі коксування України представлена продукцією шахти «Покровська» на той час мала назву «Красноармійська Західна № 1» і приблизно кожен п'ять тонн валового коксу отримують з цієї продукції.

Слід особливо наголосити, що з моменту здачі в експлуатацію шахта розробляє вугілля пласта d<sub>4</sub>, яке раніше жодна з шахт Донбасу не розробляла. Результати виконаних досліджень виявили низку унікальних властивостей цього вугілля, що в рамках класифікації твердих горючих копалин (ДСТУ 3472-96), що діяла на той час в Україні, не може бути віднесено ні до марки К, ні до марки Ж

[14-16]. Дослідними коксуваннями показано, що вугілля шахти «Покровська» не тільки дає високоякісний кокс при індивідуальному коксуванні, але, що не менш важливо, при масовій частці 20 % у суміші з вугіллям інших марок здатне повністю замінити вугілля марки ПС (10 %) та частина вугілля марки Г (10 %), причому механічні властивості одержаного коксу покращуються (за показниками  $M_{25}$  та  $M_{10}$  відповідно на 0,3 та 0,4 % порівняно з коксом з базової шихти) [17].

Таблиця 1.5

**Динаміка об'ємів видобутку і використання у виробництві коксу товарної продукції ш. «Покровська»**

Показники	Роки		
	1995	1998	2001
Видобуток рядового вугілля, тис. т	1580	2929	4324
Доля вугілля марки К в загальному видобутку, %	20,78	45,07	49,10
Доля від загального видобутку вугілля для коксування, %	4,18	9,48	10,62
Доля у виробництві коксу (сухого валового), кг/т	106	190	238

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [17]

Феномен Вугільної компанії «Шахта Червоноармійська Західна № 1» (ш. «Покровська»), що забезпечила стійкий стан сировинної бази коксування з тенденцією до її поліпшення, крім важливого економічного значення має і велике психологічне значення, демонструючи потенційні можливості вугільної промисловості України при правильному використанні ринкових відносин.

#### **1.4 Основні якісні характеристики вугілля ЗФ «Свято-Варваринська»**

Сировинна база коксохімічних заводів багатьох коксохімічних підприємств України в більшій чи меншій мірі включає концентрат збагачувальної фабрики «Свято-Варваринська», отриманий з вугілля шахти «Покровська» (раніше – «Красноармейская Западная № 1»).

Один із феноменів сучасної сировинної бази коксування заводів України полягає в тому, що марочна приналежність товарної продукції шахти «Покровська» (далі «С-В»), яка видобуває 5 млн. т на рік високоякісного коксівного вугілля залишається невизначеною. За даними [15] кожна друга тонна найбільш цінного коксового вугілля в сировинній базі коксування представлена вугіллям шахти «Покровська», якщо його відносити до марки К, і з цього вугілля виробляється кожна п'ята тонна валового коксу.

Першим документом, який зафіксував віднесення вугілля шахти «Покровська» до марки К, був «Протокол погодження маркової приналежності товарної продукції діючих шахт Донецького басейну, яка використовується для коксування відповідно до ДСТУ 3472-96, який набирає чинності з 01.01.1998 р.» (Луганськ-Харків, 1997). На момент складання «Протоколу» товарна продукція шахти «Покровська» (пл. d<sub>4</sub>) характеризувалася такими значеннями класифікаційних параметрів:  $R_0 = 1,1 \%$ ;  $V^{daf} = 29,7\%$ ;  $y = 13$  мм, причому величини перших двох параметрів уклалися в інтервали, передбачені ДСТУ 3472-96 для марки Ж (відповідно  $R_0 = 0,85-1,20\%$  і  $V^{daf} = 28-36\%$ ), а не для марки К ( $R_0 = 1,21-1,60\%$  і  $V^{daf} = 18-28\%$ ). Мабуть, пріоритетне значення при оцінці

якості вугілля мала спікливість, показник якої відповідав нижній межі інтервалу для марки К ( $13 \leq y \leq 28$  мм), але не вкладався в інтервал величин для марки Ж ( $17 \leq y \leq 38$  мм).

Результати подальших досліджень підтвердили недостатню обґрунтованість початкового маркування цього вугілля [16-19]. Порівняльний аналіз даних елементного складу, структурних характеристик, результатів дериватографії, визначення оптичної щільності диметилсульфоксидних екстрактів, теплоти згоряння вугілля шахт «Чайкіно» та ім. Бажанова, які є типовими представниками марок Ж і К, а також вугілля шахти «Покроська», підтвердив високу технологічну цінність останнього, проте не вирішив питання про його маркову приналежність [19]. Більш того, спроба визначити за семизначним кодом місце цього вугілля в рамках класифікації за ГОСТ 25543-88 також не призвела до успіху. Встановлений код 1012814 дозволяє віднести вугілля С-В як до марки Ж (група 1 Ж), так і до марки К (група 1 К).

З вищевикладеного випливає, що обґрунтування марочної приналежності цього вугілля є досить складним завданням, для вирішення якої необхідно проведення поглиблених досліджень з використанням комплексу сучасних методів.

В основу методології виконаного авторами дослідження [19] було покладено тезу про те, що при близькості значень класифікаційних параметрів специфіка складу, молекулярної будови і як наслідок - технологічних властивостей може бути обумовлена відмінністю вихідного рослинного матеріалу і умов його перетворення, тобто, генетичним типом вугілля за рівнем відновленості. Такий підхід відкриває низку нових можливостей як інструментального дослідження, так і інтерпретації експериментальних даних, що характеризують вугілля «С-В». У вуглехімії є чимало прикладів використання ступеня відновленості як вельми інформативного показника при вивченні властивостей вугілля [20-23]. За даними [23] після виявлення у вугільних басейнах України та Росії близьких за ступенем метаморфізму вугілля з різними

властивостями зарубіжні дослідники також стали враховувати генетичний тип по відновленості при оцінці коксування подібного вугілля.

Складність нашого дослідження полягала в тому, що шахта «Покровська» є однопластовою (пл. d<sub>4</sub>), що виключає можливість вивчення ізометаморфних пар, як це робилося в ранніх роботах. Тому як «бази порівняння» прийняли типові вугілля марок Ж (шахта «Чайкіно») і К (ім. Бажанова), які досліджували раніше при встановленні марочної приналежності вугілля «С-В».

За досвідом попередників в експериментальній роботі використовували методи, які дозволяють за сукупністю ознак визначити генетичний тип по відновленості, що зумовлює специфіку складу та властивостей вугілля. До таких методів належать:

- технічний аналіз (показники  $S_t^d$  та  $V^{daf}$ );
- елементний склад (масові частки та атомні відносини, розрахунок структурних характеристик);
- петрографічний склад і рефлектограмний аналіз (показник  $R_0$ , характер асиметрії його розподілу, вміст мікрокристалічного піриту);
- пластометрія (показник спекаємості  $y$ );
- визначення теплоти згоряння ( $Q_s^{daf}$ );
- ІЧ-спектроскопія (визначення відносної інтенсивності смуг поглинання, що відповідають окремим групам атомів, у т.ч. -ОН, С=О, СНар, СН<sub>2</sub>-аліф. та ін);
- рентгеноструктурний аналіз вугілля та отриманих з них коксів (визначення міжплощинної відстані  $d_{002}$ , розміру вуглецевих блоків  $L_a$  і  $L_c$ , ступеня впорядкованості структури  $h/l_{002}$ , числа вуглецевих сіток у блоці  $n$ );
- оцінка коксівності (визначення дробимості  $P_{40}$  і стирання  $I_{10}$  коксу) і комплексне випробування властивостей коксу (показники реакційної здатності РС, термомеханічної міцності ТМП і стирання І) за методами УХІН.

Спрощена диференціація за генетичними типами ділить вугілля на маловідновлені (тип «а») і відновлені (тип «в»), причому останній об'єднує три підтипи: перехідний («б»), відновлений («в») і високовідновлений ("вв"). За даними [21] вугілля із вмістом  $S_t^d$  менше 1% належать лише до маловідновленим,

тобто, до генетичного типу «а», причому у складі сірчистих сполук відсутній мікрокристалічний пірит.

У роботі [22] досліджували 8 пар ізометаморфного донецького вугілля марок Г, Ж, К і встановили, що у всіх випадках менш відновлене вугілля мали менший вихід летких речовин. Дані елементного аналізу в частині вагового вмісту водню і кисню можуть служити надійним критерієм ступеня відновленості вугілля. Так, з 8 пар ізометаморфного донецького вугілля різних марок вміст водню в маловідновленому вугіллі у всіх випадках було менше, а кисню більше, ніж у відновлених.

Досить чітко розрізняються генетичні типи вугілля за значеннями атомних відносин Н/С і О/С: тип «а» в порівнянні з типом «в» характеризується зниженими величинами першого відношення і підвищеними – другого. Слід зазначити, що такі ж закономірності встановлені і при вивченні близького за ступенем метаморфізму різновідновленого вугілля Кузбасу [23]. За величинами атомних відносин Н/С і О/С розраховують показник ступеня ароматичності структури  $f_a$ , а за масовими відсотками С, Н, N і S – ступінь молекулярної асоційованості речовин вугілля  $c_A$ , використовуючи наведені в [21] та [24] формули:

$$f_a = 1,07 - 0,3857(H/C) - 0,3725 (O/C) \quad (1.1)$$

$$c_A = 1 - \frac{H + 0,125(O + N + S)}{0,333C} \quad (1.2)$$

У роботі [22] автор констатував, що більш відновлений вітриніт має більш темний колір у відбитому світлі і менше значення  $R_0$ , і запропонував кількісний показник ступеня відновленості, який розраховують по рефлектограмі вугілля. Для вугілля генетичного типу "а" характерна правостороння, а типу "в" - лівостороння асиметрія розподілу показника  $R_0$ . Відповідно співвідношення лівих і правих площ від лінії середнього значення  $R_0$  виявляється менше і більше одиниці, що є ще одним кількісним критерієм відновленості. Знижена спікливості і теплота згоряння донецького маловідновленого вугілля,

встановлені в роботах [23, 24], чітко корелює з меншим вмістом в них водню і більшим - кисню.

ІЧ-спектроскопія дозволяє кількісно охарактеризувати вміст у вугіллі як функціональних кисневмісних ОН - і СО - груп, так і СН<sub>2</sub> - аліфатичних і СН - ароматичних груп атомів.

Тому результати ІЧ-спектроскопії використовували для зіставлення зазначених вище ознак генетичного типу вугілля. Встановлено, що кисень по-різному розподіляється у складі функціональних груп різновідновленого вугілля: тип «а» характеризується великим вмістом гідроксильних і меншим - карбонільних груп у порівнянні з типом «в» [23].

У роботі [26] відмінність в молекулярній структурі вугілля різних генетичних типів по відновленості пов'язують з більшим або меншим вмістом аліфатичних груп, що утворюють водневі зв'язки. Застосування рентгеноструктурного аналізу (РСА) призвело авторів [22] до висновку, що маловідновлене жирне вугілля шахти «Кочегарка» (пл. m<sub>2</sub>) відрізняється від відновленого вугілля тієї ж шахти (пл. m<sub>3</sub>) меншою середньостатистичною міжплощинною відстанню ( $d_{00}$  3,612 і 3,643) і більшою висотою вуглецевих пакетів ( $L_c = 20,4$  та 17,8 Å).

У коксів із цього вугілля співвідношення параметрів інше: значення  $d_{002}$  відповідно 3,535 і 3,523 Å, а  $L_c = 18,4$  і 20,3 Å, тобто, кокс із вугілля типу «в» щільніше упакований у блоки більшої висоти. Крім показників  $d_{002}$  і  $L_c$ , за даними РСА розраховують також величини  $L_a$  (розмір вуглецевих сіток, складових блок),  $h/l_{002}$  (ступінь упорядкованості ароматичної структури) і кількість ароматичних сіток в блоці ( $n$ ).

Показники коксівності (дробимість  $\Pi_{40}$  і стиранисть  $I_{10}$ ) вугілля різних марок в залежності від генетичного типу по відновленості змінюються, як правило, по одній і тій же закономірності: у 7 з 8 ізометаморфних пар дробимість і стирання коксу з вугілля типу «а» були меншими, ніж коксу з вугілля типу «в», причому у жирному вугіллі різниця порівнянних показників проходила через максимум (13-14% за величиною  $\Pi_{40}$  і 3-4% за величиною  $I_{10}$ ).

Сукупність ознак, що використовуються для ідентифікації генетичного типу вугілля за ступенем відновленості, що виявляються тим чи іншим експериментальним методом і мають кількісний вираз, дозволяє обговорити з цієї точки зору результати дослідження збагачених проб вугілля шахт «Чайкіно», «Покровська» та ім. Бажанова (табл. 1.6).

Слід підкреслити, що на даному етапі основною метою обговорення було обґрунтування генетичного типу і марки вугілля шахти «Покровська» шляхом зіставлення всіх показників його складу, молекулярної структури та властивостей з відповідними показниками типового вугілля марок Ж і К. Зазначимо, перш за все, що, як і раніше, значення класифікаційних параметрів  $R_0$  і  $V^{daf}$  характеризують вугілля ш. «Покровська» за ДСТУ 3472-96 як марку Ж, а значення параметра  $u$  – як марку К. Виділимо також три ознаки, яким це вугілля однозначно може бути віднесено до генетичного типу «а», тобто, до маловідновленого вугілля:

- величина  $S^d_t < 1,0 \%$  (відповідно до [23] – це правило, що не має винятків),
- практична відсутність (сліди) мікрокристалічного піриту, підтверджена прямим мікроскопічним дослідженням,
- правостороння асиметрія розподілу значень  $R_0$ , (співвідношення площ зліва і праворуч від середнього значення  $R_0$  дорівнює 0,72, тобто менше 1).

Що стосується інших ознак, то їх відповідність уявленням про віднесення вугілля «Покровська» за генетичним типом до маловідновлених марок Ж або К неоднозначно. Так, менші величини  $V^{daf}$  і  $H^{daf}$  можна розглядати як відповідність вугілля шахти «Покровська» маловідновленому вугіллю марки Ж, тоді як підвищені величини  $O^{daf}$ , (Н/С) ат, поряд зі зниженою спекливістю і теплотою згоряння в однаково служать ознаками вугілля типу «а» марок як Ж і К. Аналіз формул (1.1) і (1.2) з урахуванням елементного складу та атомних відносин (Н/С) ат та (О/С) ат призводить до висновку, що за характеристиками молекулярної структури  $f_a$  і  $s_A$  вугілля шахти «Покровська» ближче до марки Ж, ніж до марки

К, головним чином, за рахунок найбільшого вмісту кисню (5,4%) при зниженому вмісті вуглецю (86,8%).

Таблиця 1.6

## Характеристика складу, структури і властивостей дослідженого вугілля

Метод дослідження	Показник, що вимірювався	Об'єкт дослідження (марка, шахта)		
		Ж, ш. «Чайкіно»	ш. «Покровська»	К ш. ім. Бажанова
Технічний аналіз	$A^d$ , %	4,2	2,8	5,7
	$S_t^d$ , %	2,23	0,76	1,57
	$V^{daf}$ , %	30,9	28,5	26,7
Елементний склад, % daf	C	86,1	86,8	88,7
	H	5,5	5,3	5,2
	N	1,6	1,5	1,6
	O	4,5	5,4	2,8
	(H/C), ат	0,604	0,605	0,602
	(O/C), ат	>0,039	>0,047	>0,024
	$f_a$	0,697	0,707	0,727
Рефлектограмний аналіз	$R_0$ , %	0,97	1,09	1,23
	Характер анізотропії	Лівобічна	Правобічна	Лівобічна
Пластометрія	y, мм	21	14	21
Визначення теплоти згоряння	$Q_s^{daf}$ , МДж/кг	35,20	34,54	35,92
ІКС	ОН <sup>-</sup>	0,50	0,71	0,68
	C=O	0,96	0,89	0,85
	CH-ар	0,18	0,38	0,26
	CH <sub>2</sub> -ал	0,55	0,80	0,92
РСА вугілля	$d_{002}$ , нм	0,372	0,358	0,356
	$L_c$ , нм	2,83	3,26	3,67
	$L_a$ , нм	2,70	4,40	3,40
	$h/l_{002}$	1,45	1,78	5,33
	n	9	10	11
РСА коксу	$d_{002}$ , нм	0,353	0,353	0,358
	$L_c$ , нм	3,15	3,39	2,93
	$L_a$ , нм	12,7	6,60	7,60
	$h/l_{002}$	4,07	5,77	4,60
	n	10	11	9
Коксуємість за УХІНОм	$P_{40}$ , %	81,5	85,9	86,2
	$I_{10}$ , %	10,2	8,3	8,8
Комплексне дослідження коксу за методом УХІНу	РС, %	22,6	19,1	17,5
	ТМП, %	72,4	78,7	79,4
	I, %	4,80	2,17	2,89

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [20]

Дані ІЧ-спектроскопії настільки ж суперечливі: вміст атомних груп ОН і СН-ар у вугіллі шахти «Покровська» більше, ніж тих же груп як у жирному, так і в коксовому вугіллі, а за вмістом груп СН і СН<sub>2</sub>-ал цей вугілля ближче до коксового, ніж жирного. Таким чином, результати ІЧ-спектроскопії не може служити надійним критерієм марочної приналежності вугілля шахти «Свято-Варваринська» в рамках класифікації ДСТУ 3472-96.

При аналізі результатів РСА автори [23] дійшли висновку, що маловідновлене вугілля в порівнянні з високовідновленими має менші міжплощинні відстань ( $d_{002}$ ) і менший ступінь упорядкованості (за вмістом вуглецю в блокових структурах) і число сіток. Цим ознакам відповідає вугілля шахти «Покровська» у порівнянні з жирним вугіллям шахти «Чайкіно». Поряд з цим, кокс з вугілля шахти «Покровська» у порівнянні з коксом із двох інших проб дослідженого вугілля має за показниками РСА найбільш упорядковану ( $h/l_{002} = 5,77$  проти 4,07 та 4,60) та щільну структуру з максимальним числом сіток у блоці (11 проти 10 і 9), причому висота блоків також найбільша ( $L_c = 3,39$  проти 3,15 і 2,93), а міжплощинна відстань менша, ніж у коксу з вугілля марки К ( $d_{002} = 0,353$  проти 0,358). Очевидно, що саме такою структурою обумовлені найменші значення стирання при випробуванні як «холодного» коксу ( $I_{10} = 8,3$  проти 10,2 і 8,8%), так і при одночасному термічному, механічному та хімічному впливі на нього при випробуванні за методом УХІН ( $I = 2,17$  проти 4,80 і 2,89) [18].

За показниками опору дробленню при «холодному» випробуванні і термомеханічною «гарячою» міцністю кокс з вугілля шахти «Покровська» близький до коксу з типового вугілля марки К (відповідно  $\Pi_{40} = 85,9$  і 86,2, а ТМП = 78,7 і 79,4) і значно міцніше коксу з вугілля марки Ж ( $\Pi_{40}$  і ТМП відповідно 81,5 і 72,4). В цілому, результати виконаного експериментального дослідження та їх обговорення дозволяють укласти, що вугілля шахти «Покровська» за комплексом показників складу, структури та технологічних властивостей займає проміжне положення між типовими донецьким вугіллям марок Ж і К, тобто, може розглядатися як представник марки КЖ, яка передбачалася класифікацією за ГОСТ 25543-88, проте відсутня у класифікації вугілля за ДСТУ 3472-96.

Значення трьох із чотирьох наведених у таблиці класифікаційних параметрів вугілля шахти «Свято-Варваринська» відповідають марці КЖ ( $0,9 \leq R_0 \leq 1,29$ ;  $\Sigma OK$  – усі категорії;  $24 \leq V^{daf} \leq 30$ ); що ж стосується зниженої спікаємості, то вона обумовлена належністю цього вугілля до маловідновленим за генетичним типом.

В цілому результати елементного аналізу, як і значення показників  $R_0$  і  $V^{daf}$  свідчать, що глибина метаморфійних перетворень вихідного рослинного матеріалу не досягла у вугіллі «Покровська» стадії, що відповідає типовому коксовому вугіллі. До такого ж висновку призводить аналіз результатів вимірювання оптичної щільності  $D$  екстрактів при обробці вугілля диметилсульфоксидом за методикою [19], а також визначення теплоти згоряння ( $O_s^{daf}$ ). У ряді вугілля шахт і Чайкіно (Ж), ім. Бажанова (К) та «Свято-Варваринська» значення показника  $D$  склали відповідно 0,92; 0,54; 0,14 та 0,40, а величини  $O_s^{daf}$  - 35,20; 35,92 та 34,54 МДж/кг. Видно, що за величиною  $D$  місце вугілля «Свято-Варваринська» між вугіллям марок Ж і К.

На додаток до показників  $V^{daf}$  і  $y$ , що традиційно використовуються при складанні шихт для коксування з петрографічно однорідного (вітринізованого) вугілля Донбасу, в період завезення в Україну великих кількостей вугілля з інших басейнів були розроблені показники якості, засновані на використанні результатів термогравіметрії та вискозиметрії [28] або лише термогравіметрії [29].

По [28] комплексний показник властивостей  $\Delta t$  розраховують за формулою:

$$\Delta t = t_m - t_3 \quad (1.3)$$

де  $t_m$  - температура максимальної швидкості вбули маси при нагріванні вугілля в інертному середовищі в дериватографі, °С,

$t_3$  – температура затвердіння пластичної маси у вискозиметрі Гізелера.

По [29] відносну втрату маси (ОПМ) у ході термічного розкладання вугілля розраховують за формулою:

$$\text{ОПМ} = \Delta m_{400-500} 100 / \Delta m_{400-700} \quad (1.4)$$

де  $m_{400-500}$  і  $m_{400-700}$  - відповідно втрата маси зразка в температурних інтервалах 400-500 і 400-700 °С, %.

У табл. 1.7 наведено дані, необхідні для розрахунків за рівняннями (1.3) і (1.4), а також значення показників  $\Delta t$  і ОПМ дослідженого вугілля. За величиною додаткового показника  $\Delta t = -23$  °С вугілля «Свято-Варваринська» близьке до вугілля марки К шахти ім. Бажанова, а за показником ОПМ = 44,6% - до вугілля марки Ж шахти Чайкіне.

Таблиця 1.7

### Характеристика вугілля за даними термогравіметрії і віскозиметрії

Вугілля	$t_m, ^\circ\text{C}$	$t_z, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\Delta m_{400-500}, \%$	$\Delta m_{400-700}, \%$	ОПМ, %
Ж, ш. «Чайкіно»	455	487	-32	8,6	18,0	47,8
ш. «Покровська»	480	500	-20	5,1	17,5	29,1
К ш. ім. Бажанова	455	478	-23	8,3	18,6	44,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [20]

Слід при цьому підкреслити, що значення обох додаткових показників якості вугілля «Покровська» укладаються у встановлені в [28, 29] інтервали раціональних величин:  $-20 \leq \Delta t \leq +5$  °С та  $44 \leq \text{ОПМ} \leq 51$  %, що підтверджує високу технологічну цінність цього вугілля як компонента шихти для коксування та узгоджується з високою оцінкою його коксування, наведеної в роботі [10].

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вплив вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на якість коксу при різній його участі

Внаслідок того, що доведений вплив реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу на продуктивність доменної плавки необхідно домагатися отримання доменного коксу, що характеризується високими значеннями якості цих показників.

Враховуючи той факт, що існуюча у 2010 році вітчизняна вугільна сировинна база не в змозі задовольнити цю вимогу [30], актуальною стає завдання кваліфікованого використання високоякісної сировини, що є в наявності. Насамперед, це відноситься до низькосірчистих і низькоосновних вугільних концентратів марок «Ж» та «К».

Відповідно до [31], для отримання коксу покращеної якості ( $M_{25} > 88,3\%$ ,  $M_{10} < 6,8\%$ ;  $CRI = 27,5-31,5\%$ ,  $CSR = 52,5-61,0\%$ ), який відповідав би ТУ У 23.1-00190443-086:2006 [32], вимоги до якості коксу якого представлені в таблиці 2.1, на ЗАТ «Макіївкокс», була використана вугільна шихта наступного складу, %:

- концентрат вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», марка «К» – 73;
- Концентрат вугілля ВП «Шахта імені А.А.Скочинського», марка «Ж» - 7;
- Концентрат вугілля АП «Шахта імені А.Ф.Засядька», марка «Ж» - 20.

У цій же роботі зазначено, що введення до складу шихти концентрату вугілля АП «Шахта імені О.Ф.Засядька» було вимушеним заходом, внаслідок обмеженого на той момент ресурсу малосірчистого та низькоосновного концентрату ВП «Шахта імені А.А. Скочинського».

У табл. 2.2 та 2.3 наведено технологічні властивості та петрографічні характеристики основних вугільних концентратів, що входили до сировинної бази ЗАТ «Макіївкокс», а саме: ВП «Шахта імені А.А. Скочинського», ЦЗФ «Київська», ЗФ «Свято-Варваринська» та розріз «Чернігівець».

Таблиця 2.1

## Показники якості коксу доменного марки «Преміум»

Найменування показника	Норма для класу		
	КДП1	КДП2	КДП3
Зольність $A^d$ , %, не більше	10,7	11,0	11,5
Масова частка загальної сірки $S^d_t$ , %, не більше	0,85	1,00	1,20
Масова частка загальної вологи $W^r_t$ , %, не більше	6,0	5,0	5,0
Вихід летких речовин $V^{daf}$ , %, не більше	0,8	1,0	1,2
Індекс реакційної здатності коксу CRI, %, не більше	29,0	34,0	35,0
Міцність залишку коксу після реакції CSR, %, не менше	56,0	48,0	45,0
Показники міцності, %			
$M_{25}$ , не менше	88,0	87,0	86,0
$M_{10}$ , не більше	7,2	7,5	7,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [32]

Таблиця 2.2

## Технологічні властивості досліджених вугільних компонентів ЗАО «Макіївкокс»

Назва компоненту	Марка по посвідченню	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм		Середній показник відбиття вітриніту, $R_o$ , %	Спідлива здатність за методом Рога, RI, од.
		$A^d$	$S^d_t$	$V^d$	$V^{daf}$	x	y		
ВП «Шахта імені А.А. Скочинського»	Ж	8,3	1,12	29,3	32,0	20	19	1,04	74
ЦЗФ «Київська»	Ж	7,8	1,83	29,7	32,2	1	25	1,06	68
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	8,7	0,83	26,0	28,5	15	14	1,12	55
Розріз «Чернігівець»	СС	8,5	0,62	23,2	25,3	36	7	0,98	24

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

У табл. 2.3 наведено також значення двох показників, розроблених на базі петрографічних характеристик (Сш - спікання шихти і Кш - коксування шихти), і характеризують технологічну цінність вугільних компонентів або виробничих шихт [34-37].

Таблиця 2.3

**Петрографічна характеристика досліджених вугільних компонентів ЗАТ «Макіївкокс»**

Назва компоненту	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Сш, %	Кш, од.	Стадії метаморфізму вітриніта, %						
									<0,50	0,50-0,65	0,66-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
		Vt	Sv	I	L	Σ ОК			Марки вугілля, що умовно відповідає стадіям метаморфізму вітриніту						
								Д	ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т	
ВП «Шахта імені А.А. Скочинського»	Ж	87	—	11	2	11	84,4	7,85	—	—	3	95	2	—	—
ЦЗФ «Київська»	Ж	88	1	9	2	10	88,0	9,00	—	—	—	100	—	—	—
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	87	—	11	2	11	86,1	8,01	—	—	1	81	18	—	—
Розріз «Чернігівець»	СС	39	2	57	2	59	30,8	0,54	—	2	19	75	4	—	—

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Перший дає кількісну оцінку складових частин органічної маси вугілля, які в процесі термічної деструкції утворюють значні кількості термостійких рідких продуктів, здатних утворювати з залишковим матеріалом деструкуючих зерен і з інертними складовими матеріалом, що спікся, різної міцності.

Розраховується Сш за формулою:

$$C_{ш} = \frac{\Sigma(0,90 - 1,39)Vt}{100} \quad (2.1),$$

де:  $\sum(0,9-1,39)$  - вміст складових вітриніту з величиною показника відображення від 0,90 до 1,39%;

$V_t$  - вміст мацералів групи вітриніту,%.

Показник Кш являє собою відношення сумарного вмісту складових вітриніту з показником відображення від 0,9 до 1,39 %, які виявляють високу спікливість і мають здатність приймати присадки, що опіснюють, і мацералів групи ліптиніту до суми опіснюючих мацералів і неспікаючих складових вітриніту з 7%.

Природно, чим вище це відношення, тим більше ймовірність за інших рівних умов (близько середнього довільного показника відображення вітриніту і виходу летких речовин) отримання коксу з високим рівнем механічної міцності і низьким значенням стираності.

Показник Кш розраховується за формулою:

$$K_{ш} = \frac{(\sum(0,90-1,39)V_t/100)+L}{\sum OK + \sum(\geq 1,70)V_t/100} \quad (2.2),$$

де:  $\sum(0,90-1,39)$  – вміст складових вітриніту з величиною показника відбиття від 0,90 до 1,39%, %;

$V_t$  - вміст мацералів групи вітриніту,%;

$L$  – вміст мацералів групи ліптиніту, %;

$\sum OK$  – сума мацералів, що отощують  $(I+2/3S_v)$ , %;

$\sum(>1,70)V_t/100$  – вміст складових вітриніту з величиною показника відображення 1,70 % і більше, %.

Таким чином, показники Сш і Кш дозволяють дати узагальнюючу кількісну оцінку петрографічних характеристик вугільних шихт, що включає дані визначення мацерального складу і рефлектограмного аналізу. Внаслідок того, що вугільні концентрати ВП «Шахта імені А.А. Скочинського» та ЗФ «Свято-Варваринська» є основними у сировинній базі заводу, проведено дослідження

залежності механічної міцності та ситового складу доменного коксу саме від утримання цих концентратів у складі вугільної шихти. Основним принципом, яким керувалися при складанні вугільних шихт, був принцип перевірки можливих комбінацій співвідношення вмісту вугільних концентратів ВП «Шахта імені А.А. Скочинського» та ЗФ «Свято-Варваринська» у складі однієї шихти (100: 0; 70:30; 0:100) з метою отримання максимального виходу доменного коксу, що характеризується максимальною крупністю та покращеними показниками механічних властивостей.

У табл. 2.4, 2.5 і 2.6 наведено компонентний склад, технологічні властивості (включаючи тиск розпирання) та петрографічні характеристики вугільних шихт.

Таблиця 2.4

**Компонентний склад досліджених експериментальних вугільних шихт  
ЗАТ «Макіївкокс»**

Варіант шихти	Склад шихти, %	
	ВП «Шахта імені А.А. Скочинського»	ЗФ «Свято-Варваринська»
1	100	–
2	70	30
3	50	50
4	30	70
5	–	100

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Внаслідок близькості петрографічних характеристик вугільних компонентів, що входять у дослідні шихти, петрографічний склад і рефлектограма вітриніту останніх також близькі: вміст вітриніту становить 87%,

а сума його складових, відповідних жирної та коксової стадіям метаморфізму, дорівнює 97-99%. коливається в межах 1,04-1,12 %.

Таблиця 2.5

**Технологічні властивості досліджених експериментальних вугільних шихт ЗАТ «Макіївкокс»**

Варіант шихти	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм		Середній показник відбиття вітриніту, $R_o$ , %	Спикливість за методом Рога, $RI$ , од.	Максимальний тиск розпирання, $P_{max}^H$ , кПа
	$A^d$	$S_t^d$	$V^d$	$V^{daf}$	x	y			
1	8,3	1,12	29,3	32,0	20	19	1,04	74	4,8
2	8,4	1,03	28,3	31,0	19	17	1,06	68	5,5
3	8,5	0,98	27,7	30,3	18	16	1,08	65	13,1
4	8,6	0,92	27,0	29,6	17	15	1,10	61	15,1
5	8,7	0,83	26,0	28,5	15	14	1,12	55	17,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Таблиця 2.6

**Петрографічна характеристика досліджених експериментальних вугільних шихт ЗАТ «Макіївкокс»**

Варіант шихти	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %				$C_{ш}$ , %	$K_{ш}$ , од	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
							<0,50	0,50-0,65	0,66-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
	$V_t$	Sv	I	L	$\Sigma$ ОК	Марки вугілля, що умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту							
					Д	ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т		
1	87	—	112	11	84,4	7,86	—	—	3	95	2	—	—
2	87	—	112	11	85,3	7,94	—	—	2	91	7	—	—
3	87	—	112	11	85,3	7,94	—	—	2	88	10	—	—
4	87	—	112	11	85,3	7,94	—	—	2	85	13	—	—
5	87	—	112	11	86,1	8,01	—	—	1	81	18	—	—

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Розраховані за формулами (2.1) та (2.2) комплексні петрографічні показники Сш та Кш становлять 84,4-86,1 % та 7,86-8,01 од. За підсумками дослідження експериментальних шихт можна констатувати, що зі збільшенням вмісту в шихті концентрату ЗФ «Свято-Варваринська» знижуються вміст загальної сірки (з 1,12 до 0,83 %) та вихід летких речовин (з 32,0 до 28,5%), а також зростають показник відбиття вітриніту (з 1,04 до 1,12) %) та значення комплексних петрографічних показників Сш (з 84,4 до 86,1 %) та Кш (з 7,86 до 8,01 од.).

Необхідно відзначити, що шихти, до складу яких входить 50% і більше вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», характеризуються підвищеними величинами тиску розпирання. Отримані величини (13,1-17,0 кПа) перевищують гранично допустимі Гипрококсом [38] значення (менше 7,5 кПа), що може бути передумовою до накопичувальної втоми кладки камер коксування та скорочення терміну служби батарей.

У той же час, досвід роботи підприємства на шихтах, що включають 60-75% вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» з додаванням присадного вугілля розріз «Чернігівець», марка СС, показав можливість працювати на такій шихті без великого числа випадків тугого ходу та буріння печей [36, 37].

Для вирішення зазначеної задачі були використані технологічні фактори, здатні помітно знизити тиск розпирання вугільного завантаження в камері коксування – такі, як ступінь подрібнення вугільної шихти, її насипна густина, період та температурний режим коксування.

Також у лабораторних умовах визначали вихід хімічних продуктів коксування (табл. 2.7).

Аналізуючи дані табл. 2.7 можна дійти висновку, що зі збільшенням вмісту в шихті вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» відбувається зниження виходу смоли, сирого бензолу, пірогенетичної вологи та сірководню за практично незмінного виходу аміаку.

Таблиця 2.7

**Вихід хімічних продуктів коксування**

Варіант шихти	Вихід, %				
	Смола	Бензол	Волога пірогенетична	Сірководень	Аміак
1	4,30	1,36	3,80	0,39	0,29
2	4,11	1,31	3,70	0,35	0,30
3	3,93	1,29	3,61	0,33	0,30
4	3,90	1,24	3,58	0,33	0,29
5	3,88	1,20	3,53	0,26	0,29

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

За прийнятою на ЗАТ «Макіївкокс» схемою підготовки шихти ДШ, дослідні шихти були докладені до 80 % вмісту класу 3-0 мм і прококсувані в п'ятикілограмовій лабораторній печі УХІН [35].

У камеру завантажували 4,5 кг шихти з масовою часткою вологи 80,5%. Температура в центрі завантаження перед видачею становила  $950 \pm 10$  °С при обороті 2 год 40 хв. Гасіння коксу – сухе.

Отриманий кокс відповідно до прийнятої методики, піддавався чотириразового скидання з висоти 1 м, розсіву та механічній обробці в чотирисекційному барабані при 300 обертах барабана.

У кожену секцію завантажувалася навішування вагою близько 750 г, складена з класів більшості понад 25 мм, пропорційно їх вмісту в коксі після скидання.

Після обробки в барабані визначали показники дробимості  $P_{25}$  (за змістом класу більше 25 мм) та стирання  $I_{10}$  (за змістом класу менше 10 мм).

У табл. 2.8 і 2.9 наведено технічний аналіз, ситовий склад, вихід та характеристики міцності дослідного коксу.

Також у табл. 2.9 наведено розроблений нами комплексний показник (ПК), що враховує технологічну цінність вихідної шихти з точки зору отримання з неї максимального виходу як валового, так і металургійного коксу з високими показниками міцності.

Таблиця 2.8

**Характеристика дослідних коксів за показниками технічного аналізу та ситового складу**

Варіанти шихти	Технічний аналіз, %			Ситовий склад (мм), %				
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	>60	40-60	25-40	< 25	Середній діаметр, d <sub>ср</sub>
1	11,2	0,95	0,6	22,0	7,4	61,1	9,5	40,2
2	11,2	0,88	0,7	26,0	5,1	59,5	9,4	41,3
3	11,3	0,83	1,0	27,5	6,3	57,6	8,6	42,2
4	11,3	0,78	0,9	28,9	7,4	55,2	8,5	42,9
5	11,3	0,71	1,0	33,5	9,0	49,1	8,4	45,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Таблиця 2.9

**Характеристика міцності дослідних коксів**

Варіанти шихти	Вихід і міцність коксу					Абразивна твердість, АТ, мг	Структурна міцність, СП, %
	B <sub>к</sub> <sup>d</sup> , %	B <sub>м</sub>	П <sub>25</sub> , %	И <sub>10</sub> , %	П <sub>к</sub> , %		
1	74,4	0,905	90,1	8,1	7,49	55,6	88,8
2	75,0	0,906	90,8	8,1	7,62	56,8	88,0
3	75,5	0,914	90,6	7,9	7,91	52,6	88,2
4	76,0	0,915	90,5	7,8	8,07	55,5	89,0
5	76,7	0,916	90,8	7,5	8,51	58,5	89,4

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Показник П<sub>к</sub> розраховується за формулою:

$$P_k = \frac{B_k^d B_m P_{25}}{I_{10} 100} \quad (2.3),$$

де: B<sub>к</sub><sup>d</sup> - Вихід сухого валового коксу, %;

$V_M$  - Вихід металургійного коксу;

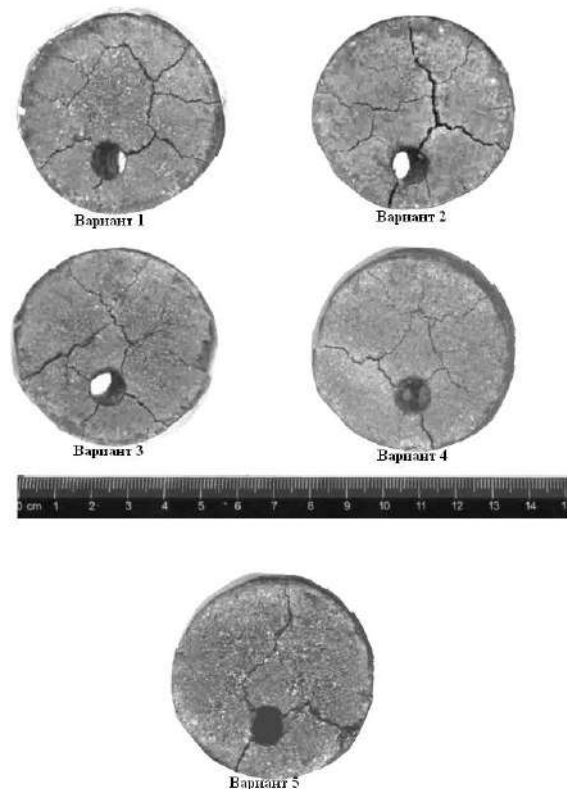
$P_{25}$  - Механічна міцність коксу, %;

$I_{10}$  - Стирання коксу, %.

Дані таблиці 2.8 свідчать, що з практично однакової зольності (11,2-11,3 %), вміст загальної сірки в коксах змінюється від 0,95 % (варіант 1) до 0,71 % (варіант 5), тобто, на 0,24% абс.

Наведений у цій же таблиці ситовий склад дослідних коксів показує, що крупність металургійного коксу, виражена величиною середнього діаметра шматка, зростає зі збільшенням у вихідній шихті вмісту вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» від 40,2 до 45,0 мм.

Дані гранулометричного аналізу підтверджуються зовнішнім виглядом коксових корольків, отриманих у процесі визначення пластометричних характеристик варіантів шихт 1-5 за методом Сапожнікова і представлених на рис. 2.1.



**Рис. 2.1 Зовнішній вигляд коксових корольків, що отримані в процесі визначення пластометричних показників варіантів шихт**

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [40]

Відповідно до роботи [40], характер тріщин лежить на поверхні коксового королька, отриманого в пластометрическом склянці, приблизно відповідає ступеню тріщинуватості коксового «пирога» у промислових печах. Використання цього методу сприяє вирішенню питань, пов'язаних із підбором складу вугільної суміші для поліпшення якості коксу. При візуальному аналізі даних корольків можна спостерігати зниження їх тріщинуватості (підвищення крупності окремо) у міру збільшення вмісту у вугільній шихті вугільного концентрату ЗФ «Свято-Варваринська».

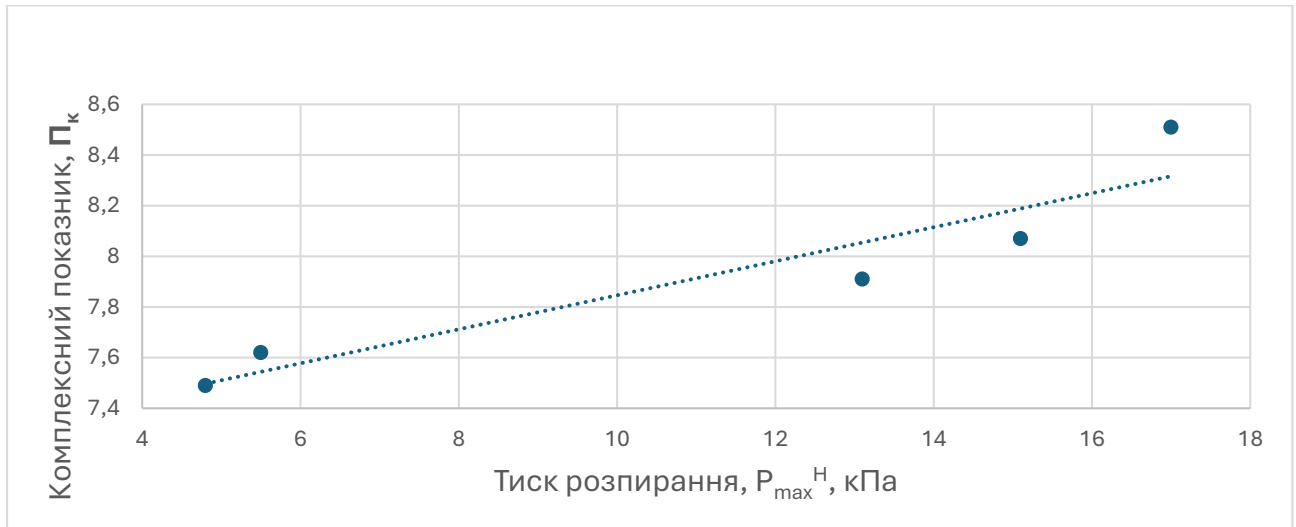
Зі збільшенням вмісту в дослідних шихтах вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» збільшується вихід сухого валового коксу від 74,4 до 76,7 % за певного зростання виходу металургійного коксу (90,5 до 91,6 %). Також відбувається зниження стирання за показником  $I_{10}$  (з 8,1 до 7,5%) при одночасному збільшенні показника міцності  $P_{25}$  (з 90,1 до 90,8%).

Значення розробленого комплексного показника  $P_k$ , що враховує вихід і характеристики коксу, показують, що зі збільшенням вмісту вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» у шихті, цей показник зростає від 7,49 до 8,51 од., тобто, на 13,6% відн.

Значення абразивної твердості та структурної міцності також мають тенденцію до покращення при додаванні більшої кількості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» до вугільної шихти (відповідно від 55,6 до 58,5 мг та від 88,8 до 89,4 %).

Отримані дані про властивості дослідних коксів показують, що збільшення тиску розпирання вугільних шихт сприяє підвищенню характеристик міцності одержуваного коксу, що має місце при коксуванні шихт варіантів 3, 4, 5.

На рис. 2.2 показано графік залежності комплексного показника якості коксу  $P_k$  від величини тиску розпирання.



**Рис. 2.2 Залежність показника  $P_k$  від величини максимального тиску розпирання**

Примітка. Джерело: розроблено автором

Залежність цих показників також описується рівнянням (2.4):

$$P_k = 0,067P_{\max}^H + 7,1748 \quad (2.4).$$

Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,94, коефіцієнт детермінації – 87,9%.

Таким чином, за результатами досліджень маємо наступні висновки.

Збільшення вмісту вугілля ЗФ «Свято-Варванська» у шихті ЗАТ «Макіївкокс» призводить до збільшення виходу валового та металургійного коксу, до підвищення його крупності та поліпшення міцності: підвищення міцності в барабані ( $P_{25}$ ), абразивної твердості (АТ) та структурної міцності (СП); зниження стирання ( $I_{10}$ ). Найбільш чутливе покращення якості коксу відбилося на зростанні комплексного показника  $P_k$  (на 13,6%).

Шихти із вмістом 50 % і більше вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» можуть розвивати підвищений тиск розпирання (більше 7,5 кПа), що може бути причиною накопичувальної втоми кладки камер коксування і скорочення терміну служби батарей. Тому необхідно чітко дотримуватися заданих технологічних параметрів виробництва коксу (ступінь подрібнення та насипна щільність

вугільної шихти, період коксування, рівень температур в опалювальній системі та коксівному засипу тощо).

## **2.2 Вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» основний компонент вугільної шихти**

Для отримання високоякісного коксу, що відповідатиме вимогам ТУ У 23.1-00190443-086:2006 [32], ПАТ «Ясиновський КХЗ» протягом багатьох років використовував вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» як основний компонент вугільної шихти.

У табл. 2.10 представлені основні показники якості та технологічні характеристики базового компонента – ш. Покровська збагаченого на ЗФ «Свято-Варваринська».

З наведених даних видно, що вугілля є петрографічно однорідним (вміст вітриніту - 81%), малосірчистим з підвищеним вмістом кисню і невисокою спекаемостью ( $y = 14$  мм). Вугілля характеризується підвищеною твердістю, що виражено низьким значенням коефіцієнта розмолоздатності (57 од.). Одним з найбільш привабливих властивостей даного вугілля є хімічний склад його мінеральної частини (золи), що характеризується невисоким вмістом основних оксидів (насамперед  $Fe_2O_3$ ) і низьким основно-кислотним відношенням (Іо).

Дана обставина робить це вугілля дуже цінним для коксування при отриманні низько реакційного коксу і визначає його високу споживчу вартість. Індекс вільного спучування характеризується величиною  $8\frac{1}{2}$ , що відповідає вугіллям середньої стадії метаморфізму марок Ж і К.

Характерною особливістю вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» є висока коксівність при невисокому рівні спікання ( $y = 14$  мм) Так, коксівність по Грей-Кінгу відносить вугілля до типу G7 (висока коксівність), що підтверджується показниками його механічної міцності при індивідуальному коксуванні:  $M_{25} - 89,0$  %,  $M_{10} - 7,5$  %. Разом з тим, було встановлено, що при високій індивідуальній коксівності це вугілля практично не приймає опіснюючих

компонентів, що пояснюється недостатнім продукуванням рідкої складової пластичної маси, викликаної невисоким значенням товщини пластичного шару.

Таблиця 2.10

**Якісна характеристика і технологічні властивості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська»**

Показники якості	Одиниці виміру	Позначення показника	Величина
1	2	3	4
Технічний аналіз:	%		
волога робоча		$W_t^r$	8,5
зольність		$A^d$	8,4
вихід летких речовин		$V^d/V^{daf}$	26,1/28,5
вміст загальної сірки		$S_t^d$	0,70
Нелеткий вуглець		$FC^d$	65,5
Пластометричні показники:	мм		
товщина пластичного шару		y	14
пластометрична усадка		x	9
Петрографічний аналіз:	%		
вітриніт		Vt	81
семівітриніт		Sv	0
інертиніт		I	11
ліптиніт		L	3
мінеральні включення		M	5
реактивні компоненти			84
інертні компоненти			16
індекс (СВІ)			0,52
стандартне відхилення	%	S	0,082

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
Рефлектограма вітриніту (V-шаг):			
V9			11
V10			42
V11			35
V12			12
середній показник відбиття вітриніту	%	Ro	1,10
Елементний склад:			
вуглець		C <sup>d</sup>	80,06
водень		H <sup>d</sup>	4,73
азот		N <sup>d</sup>	1,63
сірка		S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	0,70
кисень		O <sup>d</sup> <sub>t</sub>	4,50
зола		A <sup>d</sup>	8,38
фосфор		P <sup>d</sup>	0,012
Теплота згоряння вища	МДж/кг ккал/кг	Q <sup>daf</sup> <sub>s</sub>	<u>35,68</u> 8522
Коефіцієнт розмолоздатності за методом Хардгрова		HGI	57
Хімічний склад золи:			
діоксид кремнію		SiO <sub>2</sub>	54,07
оксид алюмінію		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,69
оксид заліза		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,98
оксид магнію		MgO	1,51
оксид кальцію		CaO	1,40
оксид натрію		Na <sub>2</sub> O	0,99
оксид калію		K <sub>2</sub> O	3,00
триоксид сірки		SO <sub>3</sub>	0,65

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
п'ятиоксид фосфору		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,48
оксид марганцю		MnO	< 0,1
Індекси основності		И <sub>о</sub>	1,97
		І <sub>о</sub>	0,168
Показники спікливості і коксівності:			
індекс вільного спучення	од.	FSI	8 1/2
спіклива здатність за методом Рога	од.	RI	63
Дилатометричні показники за методом Одібера-Арну:			
стискання	%	a	32
розширення	%	b	75
температура початку пластичного шару	°C	t <sub>I</sub>	396
температура максимального стискання	°C	t <sub>II</sub>	435
температура максимального розширення	°C	t <sub>III</sub>	471
Показники текучості в пластичному стані за методом Гізелера:			
максимальна текучість	ділення шкали	F <sub>max</sub>	111
температура початку пластичного стану	°C	t <sub>1</sub>	420
температура максимальної текучості	°C	t <sub>max</sub>	470
температура затвердіння	°C	t <sub>3</sub>	500
температурний інтервал пластичності	°C	Δt	80

Закінчення таблиці 2.10

1	2	3	4
Тиск розпирання вугілля	кПа		17,4
Тип коксу по Грей-Кингу		GK	G7
Вихід коксу	%	Вал. сух.	76,6
Показники міцності коксу	%	M <sub>25</sub>	89,0
	%	M <sub>10</sub>	7,5

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Враховуючи дану обставину, потрібно введення в шихту жирного вугілля для підвищення спікливості шихти і можливості введення опіснюючих компонентів. З цією метою розглядалося вугілля марки Ж шахт ім. Скочинського ім. Засядька та «Чайкіно», які збагачуються на ЦЗФ «Калінінська» та ЦЗФ «Київська». У табл. 2.11 наведена якісна характеристика дослідженого жирного вугілля.

Таблиця 2.11

### Якісні характеристики дослідженого жирного вугілля

Вугілля марки Ж (ЦЗФ)	Технічний аналіз, %				y, мм	R <sub>o</sub> , %	I <sub>o</sub>
	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>			
ім. Скочинського (Калінінська)	8,7	7,4	1,04	32,6	17	1,01	2,11
ім. Засядько (Київська)	11,4	8,1	1,60	30,7	25	1,06	3,86
«Чайкіно» (Калінінська)	8,1	7,3	2,44	30,3	24	1,14	4,92

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Подані дані свідчать, що введення цього вугілля в шихту заводу істотно збільшує її спікливість при одночасному підвищенні вмісту сірки та індексу основності.

Виходячи з цього, наступним етапом відпрацювання прийнятої концепції був пошук і дослідження опіснюючих компонентів як низької, так і високої стадій метаморфізму. Як малометаморфізовані компоненти розглянуті газові донецькі (концентрати ЦЗФ «Комсомольська», ЦЗФ «Добропільська», ЦЗФ «Пролетарська», ЦЗФ «Чумаківська»), павлоградські концентрати (ЦЗФ «Держинська», ЦЗФ «Селидівська»). Зарічна, збагачена на власній фабриці.

Крім цього вугілля, розглянуто концентрат перезбагачення шламів шламонакопичувача раніше закритої збагачувальної фабрики заводу (КУК). З опіснюючих компонентів інших стадій метаморфізму розглядалося російське вугілля марок КС, КСН Бочатського та Червонобродського розрізів.

У табл. 2.12 наведені результати дослідження якісної характеристики можливих опіснюючих компонентів.

Таблиця 2.12

### Якісна характеристика опіснюючих компонентів

ЦЗФ, розріз	Технічний аналіз, %				у, мм	R <sub>o</sub> , %	I <sub>o</sub>
	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>			
Комсомольська	9,0	7,1	1,38	38,4	12	0,83	4,19
Добропільська	8,8	6,3	1,76	39,3	10	0,84	4,36
Чумаковська	9,6	7,2	1,45	37,9	10	0,81	4,30
Пролетарська	8,7	7,3	1,49	38,1	10	0,76	3,90
Держинська	10,1	6,7	0,91	37,9	11	0,69	2,30
Селидівська	8,6	6,1	1,31	38,3	10	0,66	2,61
Зарічна	8,7	7,5	0,47	42,9	9	0,61	4,30
Кук (суміш марок ДГ, Г, Ж, К)	11,6	8,5	1,41	31,1	11	1,05	5,71
Бочатський	7,8	8,0	0,42	23,5	7	1,18	2,29
Червонобродський	8,1	7,0	0,38	23,4	7	1,08	1,75
Червонобродський (Тирган)	6,8	7,4	0,33	22,5	7	1,08	1,87

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Наведені дані свідчать, що все досліджене вугілля газової групи відповідає за якісними характеристиками своїм технологічним властивостям.

Так, українське газове вугілля має діапазони зольності 6,1-7,3 % та вмісту сірки 0,91- 1,76%. Це вугілля характеризуються показником товщини пластичного шару 10-11 мм та інтервалом значень середнього показника відбиття вітриніту 0,66-0,84 % при середньому значенні 0,76 %.

Кузнецьке вугілля марки ДГ ЗФ «Зарічна» є малосірчистим вугіллям з високими значеннями виходу летких речовин (42,7 %) та індексу основності. Концентрат Perezбагачення шламів (КУК) є сумішшю марок ДГ, Г, Ж, К (колишня шихта) і характеризується близькими до газового вугілля значення вмісту сірки, виходу летких речовин і спікливості. Особливими властивостями володіють опіснюючі компоненти марки КС Бачатського і Краснобродського розрізів за мацеральним складом і розподілом вітриніту по стадіях метаморфізму (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

**Петрографічний склад і розподіл вітриніту по стадіям метаморфізму вугілля марки КС**

Розріз	Петрографічний склад, %					Розподілення по стадіям метаморфізму, %						
	Vt	Sv	I	L	ΣОК	Д	ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т
Бачатський	45	0	54	1	55	0	0	12	69	16	2	1
Червонобродський	34	1	65	0	65	0	0	9	73	17	1	0
Червонобродський (Тирган)	34	0	66	0	66	0	1	20	64	9	6	0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Особливістю цієї групи вугілля є низький вміст вітриніту (34-45%) і підвищена кількість опіснюючих компонентів (55-66%). Відзначимо, що у розподілі вітриніту по стадіям метаморфізму переважає стадія жирного вугілля

(64-73%), що підтверджується значеннями середнього показника відбиття вітриніту ( $R_o = 1,09\%$ ).

Дана обставина стала основою перейти при підготовці вугілля в промислових умовах зі схеми ДШ (подрібнення всієї шихти) на схему ГДК (групове дроблення компонентів), що також позначилося на поліпшенні механічної та гарячої міцності коксу.

Наступним заходом з оптимізації складу шихти був пошук можливості часткової заміни дорогого вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на менш дороге коксове українське вугілля.

Для цього досліджувалося вугілля трьох приватних шахт: «Гірник», «Центральна Білянка», «Флагман», а також шахти «Щеглівська Глибока» ш/в «Донбас». Все це вугілля марки К збагачувалося на ЦЗФ «Чумаківська». У табл. 2.14 представлена якісна характеристика українського вугілля марки К зазначених шахт.

Таблиця 2.14

### Якісна характеристика групи українського вугілля марки К

Шахти	Технічний аналіз, %				у, мм	R <sub>o</sub> , %	I <sub>o</sub>
	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>			
Гірник	10,6	7,2	0,93	21,2	15	1,31	2,83
Центральна Білянка	7,3	7,4	0,94	24,9	18	1,27	2,64
Флагман	8,9	8,8	1,98	24,8	16	1,23	4,32
Щеглівська Глибока	10,2	7,5	2,27	27,7	20	1,18	4,91

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

На підставі результатів проведених досліджень всього вугілля як спікливої основи, так і опіснюючих компонентів заводом спільно з інститутом ДП «УХІН» проведено дослідно-промислове коксування шихт із зменшенням дольової участі базового вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» до рівня 75 - 77% (з 80-85%).

Подальші дослідження проводилися в напрямку ще більшого зниження пайової участі базового вугілля - до рівня 60-65%. На підставі результатів проведених досліджень у 2012 р. у промислових шихтах пайова участь вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» знизилася до рівня 76,6 %, а у 2013 р. (перше півріччя) - до 61% (див. табл. 2.15).

Таблиця 2.15

**Марочний склад і якісна характеристика виробничих шихт ПАТ «Ясинівський КХЗ» за 2012-2013 р (I півріччя)**

Марка компонента	Постачальник, країна	Якісна характеристика					Вміст в шихті, %	
		Технічний аналіз, %				у, мм	2012 р.	2013 р. (I пів.)
		W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>			
ДГ	ЗФ «Зарічна», РФ	8,7	8,0	0,47	42,9	9	2,0	1,2
Г	Українське	8,7	7,5	1,28	38,1	10-12	2,6	5,5
ДГ, Г, Ж, К	КУК	11,6	8,5	1,41	31,1	11-13	2,2	1,7
Ж	Українське	8,4	7,6	2,10	32,3	23-25	10,6	14,5
К	ЗФ «Свято-Варваринська»	7,6	7,8	0,74	28,1	14	76,6	61,0
К	Українське	10,2	7,7	2,17	28,0	18-20	2,7	6,1
КС	Російське	8,6	7,1	0,39	22,9	7-8	3,3	10,0
Шихта 2012 р.		7,9	7,8	0,94	29,0	15	100,0	
Шихта 2013 р. (I півріччя)		8,3	7,7	1,02	28,8	15		100,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Як видно з наведених даних, склад шихти у 2013 році змінювався у бік зменшення вмісту вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», у першому півріччі 2013 р. зниження склало 15,6 %, з компенсацією за рахунок спікаючої основи марок Ж+К на 7,3 % і опіснюючих компонентів – Г+КУК+КС – на 8,3 %. При цьому якісні характеристики шихт мало чим відрізнялися.

У таблиці 2.16 представлені якісні показники доменного коксу, отриманого із наведених шихт у 2012 та 2013 (I півріччя) рр., відвантаженого на адресу Донецького металургійного заводу.

Таблиця 2.16

**Якісні показники коксу ПАТ «Ясинівський КХЗ»**

Рік	Технічний аналіз, %				Ситовий склад, % (мм)					Механічна міцність, %		«Гаряча» міцність, %	
	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>	+80	80 -60	60 -40	40 -25	25 -0	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	CRI	CSR
2012	3,3	10,5	0,94	0,6	7,6	37,2	40,6	11,9	2,7	88,6	7,3	29,3	54,9
2013(I)	3,3	10,3	0,96	0,3	6,4	35,9	42,8	12,3	2,7	88,3	7,3	29,9	53,7

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [41]

Наведені дані показують, що розроблені та впроваджені у виробництво склади шихт із зменшеною пайовою участю особливо цінного і дорогого вугілля марки К ЗФ «Свято-Варваринська» дозволяють отримувати низькорекційний високоякісний доменний кокс марки «Преміум» в умовах вуглекоксового виробництва ПАТ «Ясинівський КХЗ».

### **2.3 Досвід використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» в сировинній базі ПАТ «АКХЗ»**

Численними дослідженнями [42-45] показано, що для отримання низькорекційного високоміцного доменного коксу, який буде відповідати вимогам технічних умов ВАТ «МЕТИНВЕСТ ХОЛДІНГ» [46] значення індексу основності не повинно перевищувати величину 2,5. Цими ТУ визначено основні параметри якості покращеного (КДМ-1) та рядового (КДМ-2) коксу, представлені в табл. 2.17.

Як видно з наведених даних, кокс покращеної якості (КДМ-1), повинен містити не більше 0,8 % сірки, а також характеризуватись підвищеною

механічною ( $M_{25}$ ,  $M_{10}$ ) та післяреакційною (CSR) або «гарячою» міцністю та зниженою реакційною здатністю (CRI).

Таблиця 2.17

**Показники якості покращеного і рядового коксу підприємств ВАТ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»**

Найменування показника	Норма для марки	
	КДМ-1	КДМ-2
Зольність $A^d$ (%), не більше	11,4	11,4
Масова частка загальної сірки $S_t^d$ (%), не більше	0,80	1,20
Масова частка загальної вологи $W_t^r$ (%), не більше	5,0	5,0
Вихід летких речовин $V^{daf}$ (%), не більше	0,8	0,8
Індекс реакційної здатності коксу CRI (%), не більше	35,0	40,0
Міцність коксу після реакції CSR (%), не менше	45,0	40,0
Показник міцності $M_{25}$ (%), не менше	88,5	88,0
Показник міцності $M_{10}$ (%), не більше	7,2	7,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [46]

Аналіз наявних ресурсів українського коксівного вугілля свідчить, що необхідними якісними характеристиками ( $S_t^d \leq 1,00$  %;  $I_o \leq 2,5$ ) мають вугілля лише двох шахт – «Покровська» (ЗФ «Свято-Варваринська», марка К) та ш. «Ім. Скочинського» (марка Ж). Враховуючи великий попит інших металургійних компаній на це вугілля, реальна їхня пайова участь у сировинній базі підприємств може становити 13-15 %.

Наявність власних вугільних активів українського коксівного вугілля марок Ж і К, отриманих при збагаченні рядового вугілля шахт ПАТ «Краснодонвугілля», також визначає необхідність їх використання в сировинній базі (часткова участь у діапазоні 20-25%).

Крім українських, ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ» має американські вугільні активи, представлені марками ВЛК (Велмор, Картер Роуг) та НЛК (Покахонтас), пайова участь яких у сировинній базі становить 5-10 %.

Наступною особливістю формування сировинної бази є необхідність використання українського вугілля державної форми власності, що пов'язано з урядовою угодою про їх підтримку компаніями гірничо-металургійного комплексу. Пайова участь цього вугілля (квота холдингу) становить близько 10-15%. Таким чином, пайова участь усього названого вугілля в сировинній базі коксохімічного виробництва холдингу коливається в межах 48-75%.

Подані дані свідчать, що недостатня кількість вугілля може перебувати в межах 52-25 % і його відшкодування може бути забезпечене тільки за рахунок залучення імпортного вугілля.

Науково-обґрунтована практика складання шихт для коксування передбачає розгляд їх як спікливу (основну) та опіснюючу (присадкову) частини. До спікливої основи відносять вугілля марок Ж, КЖ, К і близьке їм за властивостями зарубіжне вугілля. Опіснюючими компонентами служать, як малометаморфізовані (Г, ГЖО), так і вугілля високих стадій метаморфізму (КС, КСН, ОС). Марочна структура наявного в розпорядженні холдингу вугілля має в своєму розпорядженні імпортне російське газове вугілля необхідної якості, але не має достатньої кількості вугілля спікливої основи і високометаморфізованих опіснюючих компонентів. Відсутність такого вугілля робить необхідним пошук і залучення імпортного вугілля необхідної якості. Слід також мати на увазі, що в міру збільшення виробництва коксу покращеної якості частина вугілля марок Ж і К ПАТ «Краснодонвугілля» повинна заміщатися імпортним вугіллям цих же марок з низькими значеннями показника вмісту сірки та індексу основності.

Вивчення світового ринку коксівного вугілля ближнього і далекого зарубіжжя дає підставу вважати, що з Росії можна імпортувати, в основному, вугілля газової групи (Г, ГЖО) і присадочні опіснюючі компоненти (КС, ККС, ОС).

Основними експортерами вугілля основних спікливих марок (Ж, КЖ, К) є Австралія, США та Канада, які мають достатні для цього ресурси та морський транспорт для їх доставки на чорноморське узбережжя України. Крім зазначеної особливості формування сучасної сировинної бази коксування, складання шихт

з вугілля різних країн та басейнів пов'язане з їх сумісністю при проходженні всіх стадій перетворення вугілля в процесі отримання необхідного продукту:

- перехід вугілля у пластичний стан
- утворення напівкоксу
- формування кінцевого твердого утворення, тобто металургійного коксу.

Відомо, що українське коксівне вугілля Донецького басейну характеризуються високими параметрами спікливості і коксування основних спікливих марок, мають досить великий температурний інтервал пластичності, високі пластично-в'язкі властивості.

Дане вугілля є петрографічно однорідними з вмістом вітриніту більше 75%. Ці властивості дозволяють в шихти з цією спікливою основою вводити досить велику кількість опіснюючих компонентів без погіршення якості коксу. Особливістю більшості донецького вугілля, що спекаються, є так само те, що при їх нагріванні максимальне газовиділення відбувається в температурному інтервалі пластичності (350-500 °С), що підтверджується температурою максимальної швидкості втрати маси (при проведенні термогравіметричного аналізу), що знаходиться температурному інтервалі [41-45].

У реальних умовах створюваний в камері коксування підвищений тиск в процесі переходу і знаходження вугілля в пластичному стані сприяє більш глибокій взаємодії твердої, рідкої і газоподібної складових коксованої маси, що забезпечує високу механічну міцність металургійного коксу. Технологічні властивості імпортного, насамперед російського, вугілля істотно відрізняються від рівнометаморфізованого донецького вугілля. Більшість з них, особливо високих стадій метаморфізму, характеризуються високим вмістом мацералів групи інертиніту, а сума компонентів, що опіснюють ( $\Sigma$  ОК), як правило перевищує 25 %.

Вугілля практично всіх стадій метаморфізму вимагають істотно більшої витрати тепла для переходу в пластичний стан, за винятком жирних марок вугілля, де витрата тепла не так відрізняється від донецьких. Такий речовий склад імпортного вугілля і необхідність підвищеної витрати тепла для

забезпечення їх переходу в пластичний стан потребували істотної зміни схем підготовки і теплотехнічного режиму коксування шихт за участю такого вугілля більше 10%.

Слід зазначити, що американське вугілля петрографічно більш однорідне, але теплотехнічний режим їх коксування мало відрізняється від російського вугілля. Таким чином, коксування шихт за участю імпортного вугілля в обсязі понад 40 % вимагало переходу зі схеми підготовки ДШ (подрібнення всієї шихти) на схеми ГДК (групове дроблення компонентів) або ДДК (диференційоване дроблення компонентів). Вимагав коригування та теплотехнічний режим коксування таких шихт. Дослідно-промислові коксування шихт за участю різної кількості імпортного вугілля показали, що за їх участі більше 10% кожен відсоток збільшення вимагає підйому температур на 1 °С.

Результати проведених у ДП «УХІН» досліджень з оптимізації схеми підготовки та технології коксування таких шихт були перевірені в умовах ПАТ «АКХЗ».

У процесі досліджень підготовка вугілля велася за схемою дроблення всієї шихти та за схемою групового дроблення компонентів. При переході на схему ГДК було визначено компонентний склад твердої групи вугілля (коефіцієнт розмолоздатності по Хардгрову 50-65), до якої увійшла газова група (марки Г, ГЖО) як українського, так і імпортного вугілля, а також російські петрографічно неоднорідне вугілля марок ПС, КС, КСН.

До групи м'якого вугілля увійшли спікливе українське вугілля марок Ж, К, ПС, а також імпортне американське вугілля аналогічних марок (коефіцієнт розмолоздатності по Хардгрову більше 80). Для вирівнювання навантаження на обидві лінії додавалися вугілля з коефіцієнтом розмолоспроможності в діапазоні 65-75.

Дроблення твердого вугілля здійснювалося до рівня 80-82 % вмісту класу 3-0 мм, а м'якого – до 73-75%. Загальний помел готової шихти містив  $79 \pm 1\%$  цього класу крупності. Помел шихти, підготовленої за схемою ДШ, був на такому ж рівні.

Коксування проводили на батареї № 9 у два етапи: при чинному теплотехнічному режимі коксування (для визначення впливу тільки схеми підготовки) та з підвищенням температури на 1 °С на кожний відсоток участі імпортного вугілля.

Таким чином, дослідно-промисловими коксуваннями була показана можливість отримання високоміцного низькорекційного коксу з шихт за участю імпортного вугілля в умовах ПАТ «АКХЗ» з відповідним коригуванням схеми їх підготовки та технологічного режиму коксування.

При цьому пайова участь імпортного вугілля в зазначених кількостях забезпечувала показники реакційної здатності (CRI) і післяреакційної міцності (CSR) відповідно менше 35% і більше 50%. Виходячи з результатів проведених досліджень, була визначена сировинна база для виробництва коксу поліпшеної якості з вугілля наступного марочного складу (табл. 2.18).

Таблиця 2.18

**Марочний склад і якісні характеристики виробничої шихти батареї 5-9 ПАТ «АКХЗ»**

Марка	Країна постачальник	Частка участі в шихті, %	Якісна характеристика					
			A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %	y, мм	R <sub>0</sub> , %	И <sub>0</sub>
Г	Росія	32	7,9	0,57	40,5	10	0,63	2,23
Ж	Україна	16	8,2	1,40	31,2	23	1,06	3,87
ВЛК	США	12	10,0	0,71	30,6	18	1,08	2,39
НЛК	США	9	8,4	0,74	18,7	10	1,54	1,34
К	Україна	31	9,0	1,11	28,0	16	1,20	2,84
Шихта		100	8,5	0,90	31,5	15	1,01	2,58

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [47]

В результаті проведених коксувань було встановлено, що при використанні групового дроблення компонентів замість схеми ДШ механічна міцність коксу покращилася за показником  $M_{25}$  на 1,5-1,8%, за показником  $M_{10}$  - на 0,8-1,2%.

Коксування шихт за участю 40-45% імпортного вугілля при встановленому теплотехнічному режимі коксування дозволило отримати кокс з показниками механічної міцності:  $M_{25}$  - 87,5-88,5%;  $M_{10}$  - 7,5-8,0%. Після підвищення температур коксування на 30-40 °С показники механічної міцності досягли значень:  $M_{25}$  – 89,0-90,0 %;  $M_{10}$  - 6,5-7,0%.

Ця сировинна база за період січень – серпень 2013 року була досить стабільною і мала коливання марочного складу в межах  $\pm 2$  %. Комплекс заходів, що включають розробку вугільної сировинної бази, схеми її підготовки та теплотехнічних умов коксування, дозволив здійснити виробництво коксу вилученої якості в коксових цехах №2 (батареї 5, 6), №3 (батареї 7, 8), №4 (батарея 9). У табл. 2.19 представлені середні показники якості доменного коксу покращеної якості, виробленого цими цехами в січні-серпні 2013 р.

Таблиця 2.19

**Середні показники якості доменного коксу коксових цехів №№ 2-4**

Коксовий цех	Місяць	Якість коксу, %							
		$W^r$	$A^d$	$S_t^d$	$V^{daf}$	$M_{25}$	$M_{10}$	CRI	CSR
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№2	Січень*	3,1	11,2	1,16	0,5	89,0	7,1	39,4	41,1
	Лютий	2,8	11,0	0,79	0,5	89,1	6,9	34,3	47,5
	Березень	2,9	11,1	0,75	0,5	89,3	6,9	33,6	52,9
	Квітень	2,8	11,3	0,76	0,5	89,2	6,9	34,2	51,0
	Травень	2,6	11,2	0,75	0,5	89,3	7,0	33,4	52,7
	Червень	2,4	11,3	0,76	0,6	89,0	7,1	33,4	52,9
	Липень	2,0	11,1	0,75	0,5	89,7	6,9	33,1	52,1
	Серпень	2,9	11,2	0,75	0,5	89,4	7,0	33,1	52,3

Продовження таблиці 2.19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№3	Січень*	1,8	10,9	0,78	0,4	89,0	7,0	34,0	49,0
	Лютий	1,8	11,0	0,78	0,4	89,3	6,8	34,4	47,2
	Березень	1,4	11,1	0,75	0,4	89,6	6,8	32,7	53,4
	Квітень	1,5	11,2	0,75	0,4	89,6	6,8	32,6	54,0
	Травень	2,3	11,2	0,74	0,5	89,7	6,8	33,6	51,7
	Червень	2,1	11,2	0,75	0,5	89,2	7,0	33,5	51,3
	Липень	2,4	11,1	0,74	0,5	90,0	6,7	33,3	52,0
	Серпень	2,7	11,2	0,75	0,4	89,4	6,9	31,1	54,8
№4	Січень*	0,3	11,0	1,12	0,3	89,4	6,6	39,7	41,2
	Лютий	0,3	10,9	0,78	0,3	89,1	6,9	31,8	55,9
	Березень	0,2	10,9	0,74	0,3	89,3	6,8	31,0	57,4
	Квітень	0,2	11,0	0,74	0,3	89,3	6,7	30,0	57,9
	Травень	0,2	11,3	0,73	0,3	89,6	6,7	32,6	55,0
	Червень	0,2	11,2	0,74	0,3	90,2	6,7	33,2	52,4
	Липень	0,2	11,0	0,73	0,2	90,1	6,8	32,6	53,5
	Серпень	0,2	11,0	0,72	0,3	88,3	7,6	31,4	53,8

\* Виробництво коксу рядової якості

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [47]

Збільшення обсягів виробництва коксу покращеної якості вимагатиме суттєвого уточнення вугільної сировинної бази з точки зору можливості використання українського (у тому числі власних активів ПАТ «Краснодонвугілля») вугілля та розширення використання вугілля далекого зарубіжжя (Австралія, Канада та ін.).

Після 2016 року всі коксохімічні підприємства ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГ» стали активно використовувати вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» в сировинній базі коксування, а ш. Покровська і збагачувальна фабрика стали активом Холдингу.

Дольова участь вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на КХП досягала 45 %, обмеження становив високий тиск розпирання цього вугілля, а в тандемі з вугіллям марки ПС «Покахонтас» (США) не міг використовуватися в більшій кількості.

Наприклад, весною 2021 року склад шихти ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС» був наступним. Марочний і компонентний склад вугільної шихт у період експерименту представлений у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20

**Марочний і компонентний склад вугільної шихти (КБ №5-6)**

Найменування	Марка	Участь у шихті, %
«Галдинский Западный», РФ	Г	28,0
«Березовская», РФ	Ж	10,0
Carter Roag, США	Ж	7,0
Wellmore, США,	Ж	14,0
«Свято-Варваринська», Україна,	К	36,0
Pocahontas, США	ОС	4,0
Фуси		1,0
Всього		100,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [48]

Аналізуючи дані, наведені в табл. 2.20, можна стверджувати, що у вугільну шихту входило 28 % вугілля газової групи, 31 % вугілля марки Ж, 36 % вугілля коксової групи, 4 % вугілля марки ПС і 1 % фусів.

В табл. 2.21 - 2.22 наведені результати досліджень вугільних концентратів, що були комплексно вивчені за наступними параметрами: технічний ( $A^d$ ,  $S_t^d$ ,  $V^{daf}$ ), пластометричний ( $y$ ), петрографічний ( $R_0$ ,  $V_t$ ,  $S_v$ ,  $I$ ,  $L$ ,  $\Sigma OK$ , рефлектограма вітриніту) аналізу.

Таблиця 2.21

**Технологічні властивості вугільних концентратів ПРАТ  
«ЗАПОРІЖКОКС»**

Найменування	Марка	Технічний аналіз, %			У, мм	Іо
		A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>		
«Талдинский Западный», РФ	Г	7,8	0,58	37,5	12,0	2,10
«Березовская», РФ	Ж	8,5	0,50	38,6	25,0	3,54
Carter Roag, США	Ж	8,7	1,16	31,5	20,0	2,67
Wellmore, США,	Ж	8,2	0,99	32,3	22,0	3,46
«Свято-Варваринська», Україна	К	8,1	0,70	26,6	14,0	2,10
Rosahontas, США	ПС	7,7	0,66	17,5	11,0	1,24
Фуси		8,4	0,88	25,5	0,0	5,1

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [48]

Аналізуючи дані табл. 2.21 можна стверджувати, що зольність вугільних концентратів знаходиться в діапазоні значень 7,7 - 8,7 %, вміст загальної сірки становить 0,50 - 1,16 %.

Вугілля марки Г (ЦЗФ «Талдинский-Западный») характеризується притаманним газовому вугіллю підвищеним значенням виходу летких речовин - 37,5 %, товщина пластичного шару цього вугілля становить 12 мм.

Американське вугілля марки Ж – Wellmore та Carter Roag за своїми характеристиками досить схоже між собою. Так, рівень летких речовин становить 31,5 -32,3 %, товщина пластичного шару – 20,0 – 22,0 мм, вміст сірки – 0,99 - 1,16 %. Але вугілля Wellmore має нижчий, порівняно з Carter Roag, вміст золи (8,2 та 8,7 % відповідно).

Невисоким вмістом загальної сірки - 0,50 %, високим виходом летких речовин – 38,6 % та значною товщиною пластичного шару - 25 мм характеризується вугільний концентрат ЦЗФ «Березовская» (марка Ж).

Коксівне вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» характеризується виходом летких речовин  $V^{daf} = 26,6$  %, товщиною пластичного шару  $y = 14$  мм.

Вугілля марки ПС (Pocahontas) має зольність 7,7 %, вміст загальної сірки 0,66 %, вихід летких речовин 17,5 %, товщина пластичного шару 11 мм.

Таблиця 2.22

**Петрографічна характеристика досліджених проб вугільних концентратів ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»**

Найменування	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відображення вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %											
								0,50 – 0,79	0,80 – 0,89	0,9 – 1,1	1,2 – 1,3	1,4 – 1,6	1,7 – 2,5	Марки вугілля, що умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту					
								ДГ+ Г	ГЖП+Г Ж	Ж	К	ПС	П						
		$V_t$	$S_v$	I	L	$\Sigma OK$	$R_o$												
Талдинский Западный» РФ	Г	72	0	26	2	26	0,65	98	1	1	0	0	0						
«Березовская» РФ	Ж	91	0	8	1	8	0,94	0	26	71	3	0	0						
Carter Roag, США	Ж	85	0	12	3	12	0,98	2	11	87	0	0	0						
Wellmore, США,	Ж	83	0	14	3	14	0,98	3	15	82	0	0	0						
«Свято-Варваринська», Україна	К	87	0	11	2	11	1,17	0	0	65	35	0	0						
Pocahontas, США	ПС	79	0	21	0	21	1,59	0	0	0	15	74	11						

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [48]

Аналіз петрографічних характеристик досліджених вугільних концентратів (табл. 2.22) свідчить, що практично усі вони за петрографічним складом однорідні – вміст вітриніту становить 72 - 91 %. Середній довільний показник відбиття вітриніту усіх концентратів відповідає марочній приналежності.

З таблиці видно, що вміст вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» у виробничій шихті підприємства складає 36 %. А дані таблиць 2.21 і 2.22 свідчать про відмінність якісних характеристик цього вугілля від показників на початку розробки родовища.

#### 2.4 Аналіз змін якісних показників і технологічних характеристик вугілля ЗФ «Свято-Варваринська»

Для докладного порівняння якісних характеристик вугілля наведемо основні показники з вище наведених досліджень різних років у таблицю 2.23.

Таблиця 2.23

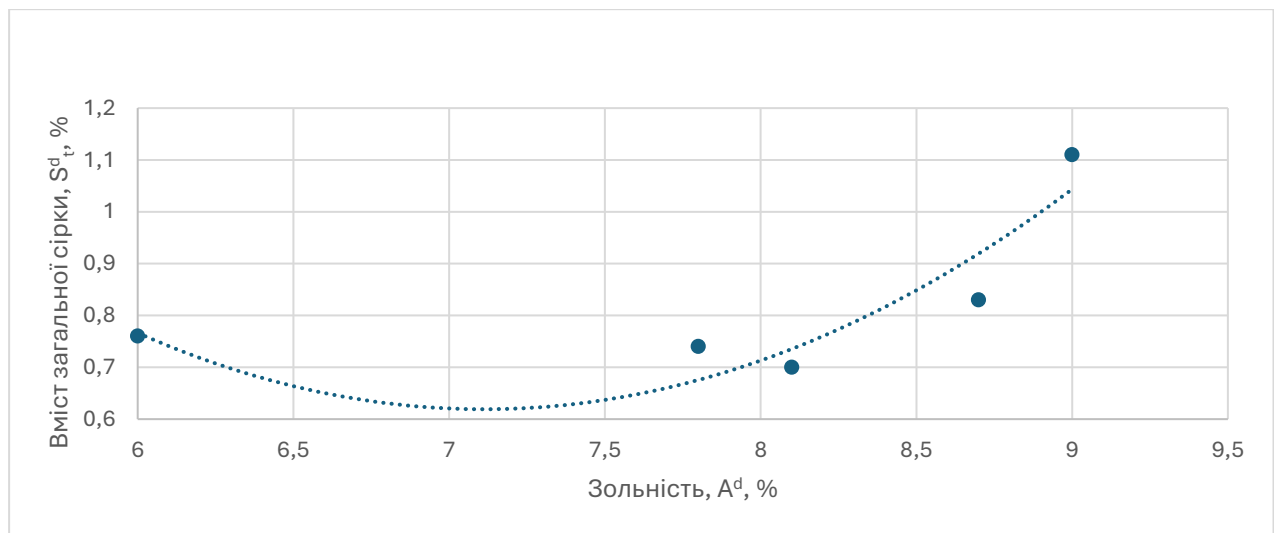
#### Основні показники якості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» різних років дослідження

Рік	Підприємство	Якісна характеристика						Вміст в шихті, %	
		Технічний аналіз, %			у, мм	Показник відбиття вітриніту %	Індекс основності		
		A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>				R <sub>0</sub>	Іо
1997	УХІН	6,0	0,76	29,7	13	1,10	-		100
2004	ЗАТ «Макіївкокс»	8,7	0,83	28,5	14	1,12	-	70,0	100
2012	ПАТ «Ясинівський КХЗ»	7,8	0,74	28,1	14	1,10	1,97	76,6	61,0
2013	ПАТ «АКХЗ»	9,0	1,11	28,0	16	1,20	2,84	31	35
2021	ПРАТ «Запоріжжкокс»	8,1	0,70	26,6	14	1,17	2,10	36	45

Примітка. Джерело: розроблено автором

З таблиці 2.23 виразно видно суттєве зниженні виходу летких речовин з часом видобутку від 29,7 % до 26,6 %, спостерігається невелике підвищення товщини пластичного шару з 13 мм до 14 мм, за даним різних дослідників часто трапляються значення 15 мм. Також відчутно збільшився середні довільний показник відбиття вітриніту  $R_0$ , з 1,10 % до 1,20 %, така тенденція змін може вплинути на класифікаційне розподілення за марками.

Вміст загальної сірки коливається в межах 0,70 % 1,10 % і більше залежить від глибини збагачення (Рис. 2.3).



**Рис. 2.3 Залежність вмісту загальної сірки від глибини збагачення, що виражена зольністю вугілля**

Примітка. Джерело: розроблено автором

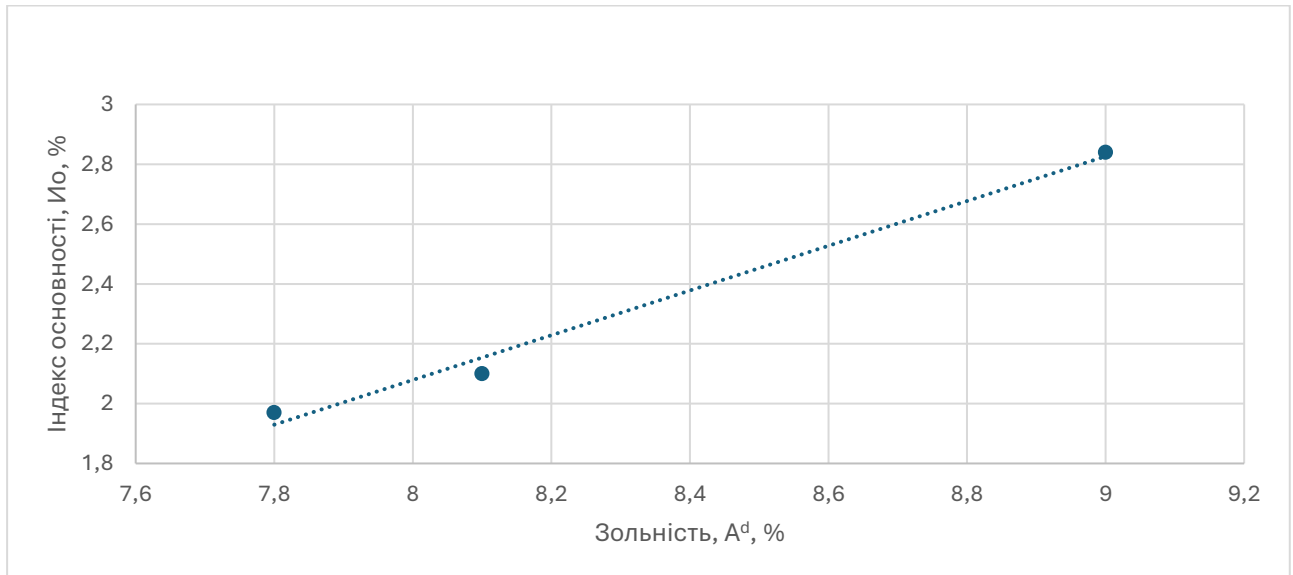
Математичне рівняння залежності вмісту загальної сірки від глибини збагачення, виражене вмістом золи у вугіллі, має вигляд:

$$S_t^d = 0,119(A^d)^2 - 1,6927A^d + 6,6382 \quad (2.5)$$

Показник вірогідності апроксимації складає  $R^2 = 0,8351$ .

Цікава тенденція також спостерігається при аналізуванні залежності показника індексу основності від глибини збагачення, що виражена вмістом золи у вугіллі (Рис. 2.4). Нажаль, не маємо значень хімічного складу золи і індексу

основності на початку видобутку вугілля ш. Покровська та на початку його активного використання в шихтах «Макіївкокс» - зацікавленість цими характеристиками щодо вугілля для коксування набула популярності після 2009 року.



**Рис. 2.4 Залежність індексу основності від глибини збагачення, що виражена зольністю вугілля**

Примітка. Джерело: розроблено автором

Математичне рівняння залежності індексу основності вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» від глибини збагачення, виражене вмістом золи, має вигляд:

$$I_o = 0,7474 A^d - 3,9004 \quad (2.6)$$

Показник вірогідності апроксимації складає  $R^2 = 0,9893$ .

Необхідно наголосити, що індекс основності не завжди пов'язаний тільки з глибиною збагачення та умовами залягання вугілля, також важливо якими саме мінералами представлені ті чи інші елементи та як вони розподілені в гірській породі, тому ця математична залежність може працювати тільки в зазначеному діапазоні показників.

## ВИСНОВКИ

1. Ресурси українського коксівного вугілля дозволяють виробити лише 3,2 млн. тон металургійного коксу з необхідним рівнем реакційної здатності (CRI 35 %) та «гарячої» міцності (CSR 50-55 %).

2. Вугільна сировинна база коксування заводів України має багаторічний дефіцитний характер. Особливо це стосується вугілля марок Ж і К (спікливої основа шихти), а також ПС (дуже цінний високо метаморфізованого компонента шихти).

3. Використання металургійного коксу з низькою (CRI < 30 %) реакційною здатністю та високою (CSR > 60%) за післяреакційною міцністю дозволяє знизити на 5-7% його витрату на тонну чавуну, а використання такого коксу в поєднанні з технологією вдування ПВП дозволяє знизити витрату коксу з 500-550 кг/т до 350-450 кг/т чавуну.

4. Вугілля шахти «Покровська», яке збагачується на ЗФ «Свято-Варваринська» за ознаками масової частки загальної сірки ( $S_t^d < 1$ ), вмісту дрібнокристалічного піриту (сліди) та характеру асиметрії розподілу показника відображення вітриніту (правостороння) відноситься до генетичного типу «а», тобто є відновленим.

5. За багатьма ознаками, що визначаються методами технічного та петрографічного аналізів, за структурними характеристиками, за даними ІЧ-спектроскопії, за результатами РСА вугілля шахти «Покровська» займає проміжний стан між типовими донецькими вугіллям марок Ж і К.

6. Кокс з вугілля шахти «Покровська» за даними РСА характеризується найбільш упорядкованою і щільною структурою, що перевершує за цими показниками кокс з типового коксового вугілля за типовими випробуваннями, а також високу термомеханічну міцність та знижену реакційну здатність коксу з вугілля шахти «Покровська».

7. Багаторічний досвід використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на коксохімічних підприємствах показує, що частка цього компонента у вугільній

шихті може сягати 75 %, обмеженнями є підвищений тиск розпирання цього вугілля, що необхідно враховувати при формуванні шихти і залучені інших компонентів.

8. Лабораторними коксуваннями показана можливість отримання високоякісного коксу при індивідуальному коксуванні навіть з такою низькою товщиною пластичного шару – 14 мм, та не здатність цього вугілля приймати опіснюючу добавку без участі в шихті жирного вугілля з високою кількістю пластичної маси.

9. Враховуючи досвід використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» можна побачити залежність вмісту сірки від глибини збагачення, тобто зольності вугілля. Та спостерігається зміна хімічного складу золи та рівня показника індексу основності при різному значенні зольності, що необхідно враховувати при прогнозуванні якісних показників коксу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сайт ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА» / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ofsv.metinvestholding.com>
2. Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д. Возможность получения высококачественного низкорекреационного металлургического кокса в условиях существующей угольной сырьевой базы Украины *УглеХимический журнал* 2010. 3-4. С. 11-17
3. Shorrocs K.R., Cunningham R.B., Ellison J.E., Nightingale R.J. *4-th European Coke and Ironmaking congress Proceeding Paris*. 2000. V. 1. P. 167-173.
4. Дышлевич И.И., Изюмский Н.Н., Журавлев В.А. Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса. *Сборник докладов 8-го международного семинара «Уголь в металлургии и энергетике»*. Ялта. 2002 г.
5. ДСТУ 4703:2022 Кокс. Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR) (ISO 18894:2018, MOD) [На заміну ДСТУ 4703:2006; чинний від 2023-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 15 с. (Інформація та документація).
6. Ухмылова С.Г. Влияние качества сырьевых материалов и эксплуатационных параметров коксовых печей на показатели качества кокса CSR и CRI. *Новости черной металлургии в России и за рубежом*. 1998. № 1. С. 103-110.
7. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Бидоленко Н.Б., Рыщенко А.И. Взаимосвязь органической и минеральной частей угольной шихты с «холодной» и «горячей» прочностью кокса. *УглеХимический журнал*. 2007. № 3-4. С. 3-13.
8. Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Рыщенко А.И., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса. *УглеХимический журнал*. 2008. № 3-4. С. 41-48.

9. Todoshuk T.W., Price I.P., Gransden I.F. Increasing coke strength after reaction with CO<sub>2</sub> (index CSR) in Dofasco. *Iron and Steel Technology*. 2004. March. P. 73-84.

10. Изменение качества кокса, обусловленное требованиями доменного процесса. Реф. Цикарев Д.А. *Кокс и химия*. 2001. № 7. С. 39-40.

11. Ковальчик Р.В., Томаш А.А., Тарасов В.П. Повышение горячей прочности кокса (CSR) за счет изменения состава угольной шихты КХП ОАО «МК «Азовсталь». *Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна. Труды международной научно-технической конференции*. Донецк: УНИТЕХ, 2006. С. 117-126.

12. Подкорытов А.Л., Кузнецов А.М., Падалка В.П. Опыт освоения и оптимизация технологии на доменной печи № 5 Енакиевского металлургического завода. *Бюл. Черная металлургия*. 2008. № 11. С. 59-70.

13. Рыженков А.Н., Гордиенко А.И., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине. *Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна. Труды международной научно-технической конференции*. Донецк: УНИТЕХ. 2006. С. 65-76.

14. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Корзун А.В. Привлечение инвестиций в угольную промышленность Украины. Киев: Основа. 2002. 288 с.

15. Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д., Давидзон А.Р. О коксующести угля шахты «Красноармейская Западная № 1». *Уголь Украины*. 2002. № 11-12. С.22-24.

16. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Торяник С.С. Технологическая ценность угля шахты «Красноармейская Западная № 1». *Углекимический журнал*. 2002. № 3-4. С.3-7.

17. Васильев Ю.С. Важнейшая роль товарной продукции шахты «Красноармейская Западная № 1» в сырьевой базе коксования заводов Украины *Углекимический журнал*. 2003. № 3-4. С. 66-67.

18. Давидзон А.Р., Дроздник И.Д. Особенности элементного состава, структуры и свойств угля шахты «Красноармейская Западная №1» *Углекимический журнал*. 2003. № 3-4. С.13-16.

19. Давидзон А.Р., Дроздник И.Д., Бидоленко Н.Б. Научное обоснование генетического типа и марочной принадлежности угля шахты «Красноармейская Западная № 1» *Углекимический журнал*. 2004. № 3-4. С.12-16.

20. Мирошниченко А.М., Кафтан Ю.С., Пухальская В.А. Коксуетость изометаморфных углей разной степени восстановленности. *Сб. научных тр. УХИНа*. М.: Metallurgy, 1971. Вып. 23. С. 100-105.

21. Мирошниченко А.М., Кафтан Ю.С., Пухальская В.А. Исследование особенностей химического строения веществ изометаморфных углей. *Сб. научных тр. УХИНа*. М.: Metallurgy, 1971. Вып. 24. С. 3-8.

22. Гагарин С.Г. Регрессионный анализ состава и свойств мацералов разновосстановленных углей Кузбасса. *Кокс и химия*. 1998. № 2. С. 2-6.

23. Золотухин Ю.А. Применение рефлектограммного анализа при исследовании углей и шихт для коксования (обзор). *Кокс и химия*. 2002. № 8. С. 2-13.

24. Маценко Г.П. Микрористаллические включения пирита как петрографический показатель типов по восстановленности донецких углей. *Химия твердого топлива*. 1983. № 1. С. 13-19.

25. Веселовский В.С. Химическая природа горючих ископаемых. М.: Изд. АН СССР, 1955. 423 с.

26. Артемов А.В., Степовой Г.И. Особенности молекулярного строения углей различных генетических типов по восстановленности. *Химия твердого топлива*. 1981. № 4. С. 18-21.

27. Мирошниченко Д.В., Трегубов Д.Г., Улановский М.Л. Некоторые аспекты методики определения реакционной способности и термомеханических свойств кокса. *Углекимический журнал*. 2004. № 1-2. С. 28-33.

28. И.Д. Дроздник, М.Л. Улановский, Ю.С. Кафтан Способ определения соотношения спекающихся и отощающих компонентов в угольной шихте для коксования: А.С. 941394 СССР. Оpubл. 1982. Бюл. № 25.

29. М.Л. Улановский, И.Д. Дроздник, Ю.В. Зингерман Способ слоевого коксования углей: А.С. 1527249 СССР. Оpubл. 1989. Бюл. № 45.

30. Золотарев И.В., Горанский П.Ю., Боровиков Г.Ф., Дембицкий В.Ю., Медянцев С.А., Торяник Э.И. Эффективность использования доменного кокса улучшенного качества (КД-1у) ЗАО «Макеевкокс» на ЗАО «Макеевский металлургический завод». *Углекимический журнал*. 2007. № 7. С. 36-43.

31. Филатов Ю.В., Крикунов Б.П., Гордиенко А.И., Коломийченко А.И., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. Опыт производства доменного кокса улучшенного качества из украинских углей и испытание его в доменной печи с использованием ПУТ. *Углекимический журнал*. 2007. № 5. С. 11-17.

32. ТУ У 23.1 – 00190443 – 086:2006 Кокс доменный марки «Премиум». Технические условия. Технічні умови. Харків: ДП «УХІН», 2006. 28 с. (Інформація та документація).

33. Золотарев И.В., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Кафтан Ю.С., Шульга И.В., Торяник Э.И., Бидоленко Н.Б., Бессчастный Ю.В., Головкин М.Б., Сытник А.В., Давидзон А.Р. Формирование механической прочности и ситового состава доменного кокса, полученного из шихт с различным участием угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» *Углекимический журнал*. 2010. № 3-4. С. 31-37

34. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Бидоленко Н.Б., Рыщенко А.И. Взаимосвязь органической и минеральной частей угольной шихты с «холодной» и «горячей» прочностью кокса. *Углекимический журнал*. 2007. № 3-4. С. 3-13

35. Чернышов Ю.А., Овчинникова С.А., Подлубный А.В., Кафтан Ю.С., Бидоленко Н.Б. Использование петрографических характеристик и новых показателей для оценки свойств углей и межбассейновых шихт ОАО «Запорожжкокс». *Углекимический журнал*. 2009. № 1-2. С. 12-20.

36. Давидзон О.Р. Наукове обґрунтування раціонального використання низьковідновленого вугілля Донбасу для виробництва високоякісного коксу Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.17.07. Харків: УХІН, 2008. 20 с.

37. Кузниченко В.М., Шульга И.В., Сытник А.В. Лабораторный способ определения давления расpirания коксуемой угольной загрузки различной насыпной плотности. *Углекимический журнал*. 2007. № 3-4. С. 29-33.

38. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. Харків : ДП «Гипрококс». 2018. 283 с.

39. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 2. Производство кокса/ Под общ. ред. В. И. Рудыки Ю. Е. Зингермана.- Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2014.- 728 с.

40. Сапожников Л.М., Сперанская Г.В. Исследование современных принципов коксования углей. Труды Института горючих ископаемых. Том IV, вып. 1. М.: Академия наук СССР, 1953. 63 с.

41. Филатов Ю.В., Чаленко В.И., Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д. Концепция развития угольной сырьевой базы для производства кокса марки «Премиум» *Углекимический журнал*. 2013. № 6. С. 12-19.

42. І.В. Шульга, Д.В. Мирошніченко, С.В. Пиш'єв, О.В. Богоявленська. Виробництво коксу. [Електронний ресурс] Харків-Тернопіль: НТУ «ХП», «Видавництво Крок», 2020. – 110 с.

43. Ковалев Е.Т., Васильев Ю.С., Дроздник И.Д., Улановский М.Л. Особенности угольной сырьевой базы для производства доменного кокса. *Углекимический журнал*. 2005. № 3-4. С. 21-25.

44. Опытные-промышленные исследования шихт с участием американского угля и полученного из них металлургического кокса в условиях ОАО «Авдеевский КХЗ»: отчет о НИР. УХИН. И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан, Э.И. Торяник, Л.Н. Фидчунов. Харьков, 2005. № ГР 0105U004212. 39 с.

45. Ярошевський С. Л. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля / С. Л. Ярошевський, А. В. Ємченко, І. В. Шульга та ін. – Харків : Контраст, 2012. – 204 с.

46. ТУ У 19.1-00190443-065:2015. Кокс доменний ТОВ «МЕТІНВЕСТХОЛДІНГ». Технічні умови. Харків: ДП «УХІН», 2015. 16 с. (Інформація та документація).

47. Гусак В.Г., Гаврилюк В.И., Магомедов М.С., Пастернак А.А., Ковалев Е.Т. Дроздник И.Д. Оптимизация угольной сырьевой базы для получения кокса рядового и улучшенного качества. *Углекислотный журнал*. 2015. № 5. С. 8-13.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Яремака Олександра Анатолійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна магістерська робота

Тема кваліфікаційної роботи Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств

Керівник кваліфікаційної роботи: Доцент, к.т.н. Десна Н.А.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту ( роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зарах.	15.01	Десна	
2	Основна частина	Десна Н.А.	зарах.	15.01	Десна	
3						
4						

Завідувач кафедри

  
( підпис )

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 15 » січня 2025 р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

магістра

Здобувача Яремаки Олександра Анатолійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-23м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ

«Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>75;</u>
таблиць	<u>30;</u>
схем і рисунків	<u>4;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** магістра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню використання в різній кількості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» у вугільних шихтах коксохімічних підприємств враховуючи зміни його якісних показників та технологічних характеристик.

В кваліфікаційній роботі розкриті та обґрунтовані основні вимоги до якості коксу в Україні і світі, проаналізована можливість досягнення світового рівня якості. Проаналізовані підходи до формування сировинної бази коксування на різних підприємствах в залежності від технологій, що використовуються.

В кваліфікаційній роботі на основі розглянутих літературних джерел проведений аналіз різної дольової участі вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» на різних коксохімічних підприємствах України, які інші компоненти використовувалися в шихтах та які показники якості коксу досягалися.

Проведений аналіз підходів до визначення марочної належності вугілля на початку видобутку.

Досліджені показники якості вугілля ЗФ «Свято-Варваринська», що використовувалося в різні роки та обговорені причини обмежень використання цього вугілля у вугільних шихтах.

**Недоліки кваліфікаційної роботи** магістра  
(бакалавра, магістра)

В роботі не зазначені зміна геологічних умов залягання та як це вплинуло на показники якості, зокрема хімічний склад золи вугілля. Не розкрито як змінюється хімічний склад вугілля при різному рівні збагачення.

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

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

Здобувач Яремака О.А. під час написання кваліфікаційної магістерської роботи показала достатню загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.

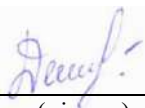
**Можливість використання кваліфікаційної роботи** магістра

Запропоновані рішення та рекомендації вибору оптимального вмісту вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» можна взяти за основу при розробці складів шихт на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а розглянуті питання властивостей вугілля і, зокрема, зміни хімічного складу золи взяти за основу для подальших досліджень.

**Оцінка кваліфікаційної роботи** магістра добре, 80, В

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

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

  
(підпис)

« 15 » 01 2025 р.

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

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

Я, Яремака Олександр Анатолійович, студент II курсу, групи ХТ-23м Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

10.01.2025

  
\_\_\_\_\_

О. Яремака

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

Текст (вибрати необхідне):

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

*Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств*  
\_\_\_\_\_ (назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

*Яремака Олександр Анатолійович*  
\_\_\_\_\_ (ПІБ)

*кафедра Хімічних технологій та інженерії*  
\_\_\_\_\_ (структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 75 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 9,90 %.

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 «14» січня 2025 р. протокол № 8.

Керівник підрозділу \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

К. Шмельцер

Дата «14» січня 2025 р.

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

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра  
(бакалавра, магістра)  
Здобувача Яремака Олександр Анатолійович  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b> <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Аналіз змін якісних показників і технологічних властивостей вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» та обсяги використання його в шихтах підприємств
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b> <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Аналіз показників якості вугільного концентрату ЗФ «Свято-Варваринська» та оптимальна кількість його в шихтах для коксування
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b> <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
В кваліфікаційній роботі на основі досліджених літературних джерел за різні роки використання вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» проаналізована якість вугільних шихт і коксу різних коксохімічних підприємств України, за різною дольовою участю цього ресурсу. Надано рекомендації щодо оптимального вмісту вугілля в шихтах для коксування.
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b> <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Не проаналізовані геологічні зміни залягання вугілля, що призвели до змін деяких якісних показників.
<b>Рекомендації:</b> робота може бути рекомендована до захисту.

Рецензент: Шмелев Катерина Олександрівна  
(прізвище, ім'я та по-батькові)  
зав.кафедр., к.т.н., доцент  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)  
[Підпис]  
(підпис)