

**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**

*Суслової Карини Сергіївни*

на тему Оцінка перспективності використання вугілля шахти  
«Любельська» в шихтах коксохімічних підприємств

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий  
керівник

к.т.н.



Десна Н.А.

(підпис)

**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] доцент, к.т.н.  
Шмельцер К.О.  
(підпис) (посада, вчене звання,  
прізвище-ініціали)  
« 15 » січня 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ  
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Сусловій Карині Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в шихтах коксохімічних підприємств

керівник кваліфікаційної роботи магістра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені 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. Обґрунтування існуючих вимог до складу вугільних шихт та наукові основи до їх складання. Аналіз сировинної бази коксування коксохімічного виробництва ПАТ «АМКР». Особливості якісних характеристик і технологічних властивостей вугілля шахти «Любельська».

4.2 Основна частина: Розробка варіантів вугільних шихт з введенням в її склад вугілля шахти «Любельська». Прогнозування якісних характеристик коксу при коксування вугільних шихт з використанням вугілля шахти «Любельська». Обґрунтування кількісних обмежень застосування вугілля шахти «Любельська». Укрупнені розрахунки економічної ефективності запропонованих технологічних рішень.

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)

Сулова К.С.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

  
 \_\_\_\_\_  
 (підпис)

Десна Н.А.  
 (прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Сулова К.С. Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в шихтах коксохімічних 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. «Любельська», його якісним показникам, технологічним властивостям та можливості використання його в шихтах для коксування різних коксохімічних підприємств з метою отримання високоякісного коксу.

В випускній кваліфікаційній роботі магістра досліджено основні технологічні характеристики вугілля ш. «Любельська» розташування шахти в басейні та відносно інших підприємств вугільно добувної галузі, схожість і відмінності умов видобутку та властивостей.

Проведений порівняльний аналіз характеристик збагачуваності вугілля з вугіллям цього басейну, які активно видобуваються. Розкриті характеристики пластів та плани на технологічні прийоми збагачення.

На підставі ретельного аналізу показників якості пластів вугілля розглянуті технологічні властивості, які є важливими характеристиками вугілля як сировини для коксування та зроблені висновки щодо приналежності до марок. Розроблені модельні варіанти вугільних шихт за участі найрозповсюдженіших вугільних концентратів, що входять в сировинну бузу коксохімічних підприємств України. Розраховані, якісні показники модельних вугільних шихт та прогнозні характеристики якості коксу.

Встановлено, що з усіх розроблених варіантів вугільних шихт можна отримати високоякісний кокс за умови науково-обґрунтованого планування вугільних шихт та дотримання технологічних прийомів коксування.

*Ключові слова:* вугільний пласт, шахта, якість, вугільна шихта, спікливість шихти, коксівність шихти, якість коксу, механічні показники.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Фактори що обумовлюють властивості коксу	9
1.2 Дослідження технологічних властивостей вугілля сировинної бази коксування	13
1.2.1 Технічна характеристика сировини. Нормативні джерела	16
1.2.2 Технологічні властивості вугілля сировинної бази коксування	22
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Характеристик вугілля шахти «Любельська»	28
2.2 Технологічні властивості і якісні характеристики збагаченого вугілля шахти «Любельська»	34
2.3 Комплексне дослідження технологічних властивостей вугілля, що входить у сировинну базу підприємств України	44
2.4 Розробка складів модельних вугільних шихт та прогноз якості коксу	50
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

## ВСТУП

Металургійне виробництво наразі та в перспективі залишиться однією з найголовніших базових та бюджетоутворюючих галузей промисловості України [1]. Техніко-економічний аналіз свідчить, що головною складовою собівартості металургійної продукції є витрати за першим переділом – в доменному виробництві [2]. При цьому найдорожчим компонентом доменної шихти є кам'яновугільний кокс. Через це головним напрямком поліпшення ефективності металургійної технології в промислово розвинутих країнах світу є зменшення витрати коксу шляхом заміни значної частини його іншими видами палива з одночасним суттєвим підвищенням якості коксу. Головним заміником коксу в Україні, на відміну від провідних країн (США, Японії, Китаю, Західної Європи, де використовують в основному пиловугільне паливо).

Аналіз сучасного стану і тенденцій забезпечення України паливно-енергетичними ресурсами власного виробництва [3] дозволяє стверджувати, що:

1. Вископне вугілля наразі і в оглядному майбутті є і залишиться для нашої країни єдиним власним реальним ресурсом палива та хімічної сировини.

2. Існує та посилюється невідповідність між структурами наявних геологічних запасів та видобутку вископного вугілля. Внаслідок цього частка у видобутку добре спікливих марок вугілля – жирного та коксового – в кілька разів перевищує їх частку в геологічних запасах.

3. Необхідні розробка та реалізація комплексу науково-технічних заходів, спрямованих на раціональне застосування найцінніших марок коксівного вугілля з метою їх економії та якнайповнішого використання притаманного їм хімічного (головним чином – спікливого) потенціалу.

4. Для ефективного використання наявних запасів українського вископного вугілля необхідно збільшувати обсяги використання енергетичних марок вугілля як заміників добре спікливих марок та отримуваних з них продуктів, в першу чергу – кам'яновугільного коксу.

Об'єкт дослідження - процес одержання коксу стабільної якості із шихти за участю українського і імпортного вугілля в умовах КХВ ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Мета роботи - розробка рекомендацій з використання вугілля ш. Любельська у сировинній базі коксохімічного виробництва.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Фактори що обумовлюють властивості коксу

Технологічне паливо використовується практично в усіх переділах металургійного виробництва – при підготовці руд та нерудних матеріалів, виплавленні чавуну та сталі, отриманні прокату. При цьому в собівартості кінцевої металургійної продукції – прокату – більшу частину складають витрати за першим переділом – доменним виробництвом. Це виробництво як паливо використовує в першу чергу кокс, який в доменній печі виконує три головні функції [4]:

- джерело тепла для здійснення хімічних реакцій та фазових перетворень матеріалів доменної шихти;
- відновлювач в хімічних реакціях;
- розпушувач стовпа шихтових матеріалів.

Властивості коксу характеризуються рядом показників, об'єднаних у кілька груп [5]. Так, хімічний (речовий) склад коксу визначається його елементним складом (вмістом вуглецю, водню, сірки, кисню, азоту, фосфору, хлору та ін), далі баластних речовин (вологи та мінеральних домішок, які прийнято оцінювати зольністю).

Вміст у коксі основних хімічних елементів і вихід летких речовин в першу чергу визначаються глибиною протікання термохімічних перетворень, які характеризуються режимом коксування - його кінцевою температурою 1000-1100°C згідно ПТЕ [6], швидкістю прогріву засипці, тривалістю процесу.

Вологість коксу залежить головним чином від способу і технологічних параметрів режиму його гасіння. Зольність і сірчистість коксу визначаються як кількістю і властивостями сірковмісних і мінеральних компонентів у вихідному вугіллі, так і термохімічними перетвореннями цих речовин при нагріванні без доступу повітря, тобто режимом коксування.

Фізичні властивості коксу пов'язані зі структурою його речовини (параметрами надмолекулярного і молекулярної будови). До них відносяться щільність, пористість, питомий електричний опір, структурна міцність, абразивна твердість, теплотворна здатність, теплоємність та теплопровідність.

Формування цієї групи властивостей залежить як від характеристик вихідної сировини, і параметрів його переробки. Наприклад, для отримання коксу з потрібними фізичними властивостями сировина для його виробництва повинна мати певну спікаємість. Згідно з ДСТУ ГОСТ 17070:2019 спікаємість - це властивість вугілля переходити при нагріванні без доступу повітря до пластичного стану з утворенням пов'язаного нелетючого залишку [7]. Кількісно у вітчизняній виробничій та на науковій практиці спікання частіше характеризується товщиною пластичного шару У (мм), що визначається за ДСТУ 7722:2015 [8]. Поглиблення термохімічних перетворень вугільної речовини також призводить до поліпшення структури коксу. Серед груп фізичних властивостей слід відзначити теплотворну здатність, яка кількісно характеризує кокс та його замітники як джерела тепла для протікання фазових і хімічних перетворень речовин у процесі доменної плавки.

Фізико-механічні властивості коксу характеризують в першу чергу його механічну міцність і гранулометричний склад. Тут також помітна вже згадана закономірність: формування цієї групи властивостей впливають як характеристики вихідної сировини, так і технологія його переробки.

До фізико-хімічних властивостей коксу належать характеристики, що визначають здатність кускового матеріалу до гетерогенних (многофазних) хімічних взаємодій [9]. Найбільше значення серед них має реакційна здатність до взаємодії з компонентами дуття з утворенням відновлювальних газів для непрямого відновлення заліза - головного хімічного процесу доменної плавки.

У сучасних умовах (при комбінованому дутті [9]) зростає кількість газифікованого коксу. У шахті доменної печі при певних температурах починає розвиватися небажаний процес прямого відновлення оксидів заліза. Чим менша реакційна здатність коксу, тим нижче його витрата на пряме відновлення і тим

більша його кількість спалюватиметься на фурмах з утворенням потім відновлювальних газів. Однак за загальної тенденції щодо вимог до зменшення реакційної здатності доменного коксу вона не повинна знижуватися нижче певної межі. Кокс все ж таки повинен мати мінімально необхідну реакційну здатність при високих температурах, коли вуглекислий газ і водяний пари в горні повністю регенеруються (відновлюються). Таким чином, основними показниками, що визначають комплекс споживчих властивостей доменного коксу, є його хімічний (речовий) склад (насамперед зольність і сірчистість), механічна міцність, реакційна та теплотворна здібності.

З метою удосконалення підготовки металургійного коксу до доменної плавки в умовах металургійного підприємства [10]:

- теоретично обґрунтовані максимальний та мінімальний розміри кусків скипового коксу, які потім були підтверджені промисловими дослідженнями;
- визначений раціональний ситовий склад коксового горіху для використання в якості замітника доменного коксу;
- запропоноване та освоєне устаткування для виділення з відсівів доменного коксу коксового горіху крупністю 10-28 (40) мм;
- розроблена система завантаження коксового горіху в доменну піч в суміші з окатишами (агломератом);
- досліджена та оптимізована технологія доменної плавки з використанням коксового горіху в кількості 17-30 кг/т чавуну.

Для вирішення завдання освоєння технології доменної плавки з підвищеною витратою пиловугільного палива (120-180 кг/т чавуну) [9-10]:

- розроблена теорія повного та комплексного компенсування технологічних параметрів процесу виплавлення чавуну при заміні частини коксу пиловугільним паливом, що дозволяє обирати найраціональніші компенсуючі заходи та здійснювати оптимізацію технології доменної плавки;
- поліпшені до європейського рівня (4<sup>го</sup>-5<sup>го</sup> поколінь) показники пилокомплексу за найважливішими параметрами (розмір подрібнених вугільних зерен, нерівномірність надходження пиловугільного палива в часі та по фурмах

( $\pm 5-10\%$ ), повнота газифікації пиловугільного палива в доменній печі (більше від  $99\%$ ), автоматизація, вибухо- та пожежобезпечність, екологія;

- поліпшена якість пиловугільного палива шляхом введення до складу шихти для його приготування суміші малосірчистого газового вугілля в кількості  $40-60\%$ . Це дозволило знизити сірчистість пиловугільного палива до  $0,7-0,8\%$ , збільшити надходження водню в газову фазу доменної печі на  $36-40\text{ м}^3/\text{т}$  чавуну, збільшити витрати кисню на збагачення дуття;

- поліпшені властивості залізородної шихти доменних печей за рахунок виключення марганецьмістких компонентів та агломерату, зниження основності шлаку, тощо; оптимізовані баланс і розподіл сірки та лугів у доменній плавці;

- вперше в Україні реалізована технологія виплавлення чавуну з окатишів без використання агломерату в залізородній частині доменної шихти.

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 паливними добавками;

- Виробництво втрачає стійкість, що призводить до розбалансування процесу і втрати виплавки чавуну.

В таблиці 1.1 наведений рівень якості доменного коксу світових виробників та середній рівень якості коксу виробників України у співставленні до досягнень деяких українських підприємств при залученні високоякісної сировини, впровадження нових сучасних технологій підготовки вугілля до коксування та при застосуванні новітніх методів післяпічної обробки коксу.

Таблиця 1.1

**Співставлення властивостей доменного коксу поліпшеної якості та показників його використання з сучасним вітчизняним та світовим рівнем**

Показники та одиниці виміру	Досягнутий рівень	Вітчизняний рівень	Світовий рівень
Зольність, $A^d$ , %	$\leq 11,0$	$\leq 12,0$	$\leq 11,0$
$S^d_t$ , %	0,80-0,85	1,20-1,40	$\leq 1,00$
Механічна міцність:			
$M_{40}$ , %	$\geq 76$	73-75	$\geq 76$
$M_{25}$ , %	$\geq 88$	82-87	-
$M_{10}$ , %	$\leq 7,5$	$\leq 8,0$	$\leq 7,5$
Вміст класів крупності:			
$>80$ мм, %	$\leq 15$	$\leq 18$	$\leq 20$
$<25$ мм, %	$\leq 3,5$	$\leq 4,0$	$\leq 3,5$
Реакційна здатність CRI, %	$\leq 30$	35-45	$\leq 30$
Післяреакційна міцність CSR, %	$\geq 55$	35-45	$\geq 55$
Вихід летких речовин $V^{daf}$ , %	$\leq 0,8$	$\leq 1,2$	$\leq 1,0$
Питома витрата коксу, кг/т чавуну	390-430	520-550	300-400

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [10]

Такий комплексний підхід до на виробництві дозволив наблизити рівень якості коксу до світових показників та бути конкурентоспроможним учасник ринку коксу в світі.

## **1.2 Дослідження технологічних властивостей вугілля сировинної бази коксування**

Формування сировинної бази коксування продиктоване насамперед вимогами до якості коксу, його механічної та гарячої міцності. Крім того, повинен враховуватися вид металургійного коксу, що виробляється, а також

спосіб коксування (коксування насипних або трамбованих шихт). Нині в Україні на підприємствах виробляються всі види металургійного коксу як із насипних, так і з трамбованих шихт. Особливістю формування сировинної бази коксохімічного виробництва України в останні роки є суттєве скорочення видобутку коксівного українського вугілля. Спочатку це було викликано тривалою роботою шахт Донецького басейну та відпрацюванням пластів глибиною до 600 м (особливо вугілля марок, що спекаються). Надалі ситуація посилилася війною, внаслідок чого 70% шахтного фонду опинилися на непідконтрольній території. У умовах знадобилося залучення імпортного вугілля як ближнього, і далекого зарубіжжя. Динаміка заміщення імпортними українського коксівного вугілля за останні 7 років представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

### 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 [11]

З наведених даних видно, що імпортна складова вугільної сировинної бази коксування заводів України досягає 82% і включає до 45% вугілля Росії і до 33%

вугілля далекого зарубіжжя – США, Канади, Австралії. При цьому пайова участь вугілля США досягла 28%. На даний момент доступні українські ресурси коксівного вугілля забезпечують, в основному, шахтоуправління «Покровське» (марка К), а також невелика кількість вугілля марки Г «Добропольська», «Жовтнева». Основним компонентом марочної структури російського вугілля, яке постачалося в Україну, є газова група – марки Г, ГЖО, ГЖ. Їхня пайова участь досягає 70 % від усіх поставок. Другим за величиною компонентом є вугілля пісної групи (КО, КС, ОС). Їхня пайова участь сягає 20 %. Вугілля, що спікається, представлене, в основному, жирним вугіллям (шахти Осінниківська, Єрунаківська, Ювілейна), а їх пайова участь у поставках не перевищує 10-20 %. З вугілля далекого зарубіжжя найбільшу пайову участь мають американське вугілля. Це пояснюється тим, що досить суттєві активи в Аппалачському вугільному басейні має українська компанія ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ», яка споживає це вугілля в обсязі 90-95 % від їх постачання. Постачання американського вугілля марки К носить епізодичний характер і не перевищує 10 %. З Канади переважно поставляли вугілля марки К і К+КО компанії Teck, а з Австралії вугілля цієї ж марки – Peak Downs і Oaky North.

Вугілля карагандинського басейну поставляються на ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", тому що є власними активами підприємства. Їхня пайова участь у загальних поставках імпортного вугілля знаходиться в межах 3-4 %. Постачання здійснюється з ОФ «Східна» у вигляді концентрату суміші марок К-КЖ-ОС. У невеликих кількостях (в межах 1 % від загальних поставок) залучається вугілля Польщі (марка Т-34 та Т-35) та Чехії (марка К). Слід зазначити ризики, які супроводжують постачання імпортного вугілля як далекого, і ближнього зарубіжжя. Ризики поставок вугілля далекого зарубіжжя пов'язані з морськими перевезеннями. Це погодні умови, затримки з навантаженням та вивантаженням суден, що загрожує порушенням графіка їх поставки на коксохімічні підприємства [11].

### **1.2.1 Технічна характеристика сировини. Нормативні джерела**

Для характеристики твердих горючих копалин, які використовуються у якості сировини для термічної переробки, застосовують показники, які кількісно описують певну ознаку, що відрізняє дане паливо від інших. За сукупністю показників, які у цілому характеризують якість палива, судять про його можливість поведінки в умовах термічної переробки, придатності до використання в певному технологічному процесі та прогнозують вихід, склад і властивості одержуваних продуктів залежно від умов процесу.

Найбільш важливими показниками, що характеризують якість вугілля, є:

- технічний аналіз: вологість – робоча або загальна ( $W^p$  або  $W^{zar}$ ), у відсотках від маси проби палива, що надійшла на аналіз (підвищений вміст води у вугіллі затрудняє підготовку його до коксування й погіршує показники роботи коксових печей); зольність ( $A$ , у відсотках), розраховується звичайно на одиницю сухої маси вугілля ( $A^c$ ) або робочого палива ( $A^p$ ) (мінеральні домішки переходять у кокс і впливають на його властивості); вихід летких речовин, розраховується на одиницю сухої маси ( $V^c$ , у відсотках) або органічної сухої беззольної маси ( $V^{daf}$ ) (є важливим показником властивостей вугілля і характеризує термічну стійкість органічної маси твердих горючих копалин у процесі нагрівання їх без доступу повітря. Залежно від цього показника змінюється вихід коксу й хімічних продуктів коксування); загальний вміст сірчистих сполук (умовно перерахованих на елементарну сірку), що входять до складу органічних і мінеральних речовин вугілля  $S_t$  (сірчисті сполуки вугілля впливають на властивості коксу доменного);

- показники петрографічного складу, що включають вміст окремих петрографічних компонентів (у відсотках) і показник відбиття вітриніту ( $R_0$ , у відсотках);

- показники, які характеризують ступінь метаморфізму, наприклад, вміст вуглецю ( $C^{daf}$ ), теплота згоряння, перелічена на одиницю сухої беззольної маси, вихід летких речовин ( $V^{daf}$ );

- показники, що характеризують хімічну структуру вугілля: елементний склад, вміст функціональних груп, що визначається хімічними або фізико-хімічними методами (наприклад, методом інфрачервоної спектроскопії), вміст різних фрагментів структури (подвійних зв'язків, ароматичних ядер), а також дані рентгеноструктурного аналізу (розміри кристалічних, упорядкованих формувань і ступінь упорядкованості структури та ін.);

- показники, що характеризують фізичні властивості палива: уявна й дійсна густина, пористість, механічна міцність;

- показники, що характеризують спікливість вугілля, (зміна обсягу вугільного завантаження, що нагрівається, - пластометрична усадка  $x$ ,  $y$  міліметрах і товщина пластичного шару -  $u$ , в міліметрах); індекс Рогу, що характеризує фактично міцності спікання; спучування вугілля, характеризує його плинність і щільність контакту в стадії спікання.

- вихід первинних продуктів термічної деструкції палив (смола, газів, твердого залишку - напівкоксу), який визначається за методом Фішера [12].

Вихідною сировиною для одержання шихти є коксівне вугілля України, Росії, Казахстану й інших закордонних вугільних басейнів.

Вугілля як сировина для коксування повинне володіти властивістю при нагріванні без доступу повітря утворювати кокс.

Споживча цінність і вартість вугілля, крім показників якості (зольності, масової долі вологи, вмісту сірки, виходу летких речовин), залежить від генетичних і технологічних властивостей. Узагальнюючою характеристикою цих властивостей є марка вугілля.

Сьогодні в Україні діє система класифікації вугілля згідно ДСТУ 3472:2015 (таблиця 1.3.), яка передбачає розподіл на 13 марок [13].

Серед класифікаційних показників :

- середній показник відбиття вітриніту  $R_0$ , %;
- вихід летких речовин, %;
- товщина пластичного шару  $u$ , мм;
- індекс Рогу  $RI$ , відн. од.

- теплота згоряння, МДж/кг.

Таблиця 1.3

### Класифікація вугілля згідно ДСТУ 3472:2015

Марка вугілля	Позначення марки	Група	Класифікаційні показники			
			Середній показник відбиття вітриніту R <sub>o</sub> ,%	Вихід летких речовин, %	Товщина пластичного шару у, мм.	Індекс Рогу R <sub>I</sub> , відн.од.
Буре	Б		<0,4	від 50 до 70	-	-
Довгополум'яне	Д		від 0,4 до 0,59	35-50	<6	-
Довгополум'яне-газове	ДГ		0,50-0,69	35-44	від 6 до 9	-
Газове	Г	Г1	0,6-0,69	38-44	10-16	
Газове	Г	Г2	0,7-0,79	36-42	10-24	-
Газове жирне піснувате	ГЖП**		0,8-0,89	33-39	10-16	
Газове жирне	ГЖ		0,8-0,89	33-38	>17	
Жирне	Ж		0,90-1,19	28-36	>17	-
Коксівне	К	К1	1,21-1,60	18-28	13-28	-
Коксівне	К	К2	1,2-1,49	18-28	13-28	
Піснувате спікливе	ПС		1,50-1,69	14-22	6-12	13 – 50
Пісне	П		1,70-2,59	8-18***	< 6	< 13
Антрацит	А		2,60-6,0	< 8	-	-

\*\* - Вугілля із середнім довільним показником відбиття вітриніту від 0,9 % до 0,99 % та товщиною пластичного шару від 10 до 16 мм належить до марки ГЖП.

\*\*\* - Якщо вихід летких речовин на сухий беззольний стан менше ніж 8%, а вища теплота згоряння на сухий беззольний стан 35,2 МДж/кг і більше, вугілля належить до марки “П”.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [13]

Марки вугілля Росії й Казахстану встановлюються за ГОСТ 25543 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам» [14].

Цей стандарт поширюється на неокислене буре, кам'яне вугілля й установлює їхню класифікацію за видами, класами, категоріями, типами, підтипами і кодovими номерами, а також технологічними марками, групами і підгрупами на основі найбільш характерних загальних ознак, що відображають генетичні особливості й основні технологічні характеристики, які дозволяють оцінити найбільш характерні загальні ознаки: ступінь метаморфізму, петрографічний склад і ступінь відновленості [14].

Технічна характеристика призначених для коксування вугільних концентратів, що надходять, визначається згідно показників, зазначених у специфікаціях до діючих контрактів і договорів на поставку вугільних концентратів України, Росії, Казахстану й інших закордонних вугільних басейнів.

Міжнародна система кодифікації кам'яного вугілля була прийнята Комітетом БЕК ООН і затверджена в 1988р. Європейською економічною комісією.

Для характеристики вугілля середнього й високого рангів були обрані основні параметри:

- відбивна здатність вітриніту;
- рефлектограма вітриніту;
- мацеральний склад;
- індекс вільного спучування;
- вихід летких речовин;
- зольність;

- вміст загальної сірки;
- вища теплота згоряння.

Вугіллям низького рангу є вугілля з найвищою теплотою згоряння менше 24 МДж/кг і середнім показником відбиття вітриніту  $R_0$ , менше 0,6%.

Вугіллям більш високого рангу є вугілля з найвищою теплотою згоряння більше 24 МДж/кг; за умови, що  $R_0$  більше 0,6%.

Система кодифікації вугілля середнього й високого рангів призначена для рядового й збагаченого вугілля окремих шарів або свити пластів.

Для характеристики вугілля середнього й високого рангів використовується 14-значна кодифікація, яка базується на вищезгаданих параметрах вугілля [15].

Для більш детальної характеристики вугілля, яке застосовується в тому чи іншому процесі, кодифікація передбачає можливість використання додаткових параметрів, кількість яких не обмежується. У перелік додаткових параметрів включені найбільш важливі стандарти, розроблені Технічним комітетом ТК27 Міжнародної організації по стандартизації (ISO), а також деякі національні стандарти [15].

При надходженні імпортованих концентратів на склади КХВ ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» гостро постає питання про раціональне їхнє використання в шихтах заводу. Цьому перешкоджає відсутність повної інформації про якість концентратів, що надходять, внаслідок негармонійності вітчизняних і іноземних нормативних документів.

Внаслідок цього, на підставі результатів дослідження концентратів, що надходять на КХВ ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а також даних аналізів великої кількості іноземного вугілля розроблена методика, що дозволяє за даними сертифікатів якості іноземного вугілля визначати орієнтовну марочну приналежність за ДСТУ 3472:2015 «Вугілля буре, кам'яне й антрацит. Класифікація».

З різних варіантів віскозиметричних методів дослідження найбільше поширення в закордонній вуглехімії одержали метод і апарат Гізелера, показники якого включають у сертифікати якості вугілля.

Значення температур початку переходу в пластичний стан ( $t_1$ ), максимальної плинності ( $t_2$ ) і затвердіння ( $t_3$ ), інтервалу пластичності ( $\Delta t$ ), а також показники максимальної плинності ( $F_m$ ) використовують не тільки як характеристику індивідуального вугілля, але й при розробці оптимального складу шихти для коксування («принцип перекивання»). Для визначення спікливої здатності вугілля використовують стандарт ISO 10329:2017 [16].

З різних варіантів дилатометричних методів дослідження частіше використовують метод і дилатометр Одібера-Арну. За цим методом визначають показники температур початку пластичного стану ( $t_1$ ), максимального стиснення ( $t_2$ ), максимального розширення ( $t_3$ ), стиснення («а») і розширення («б»). Дана методика стандартизована в ГОСТ 13324-94 «Угли каменные. Метод определения дилатометрических показателей в приборе Одибера-Арну» [17].

Крім того, у Міждержавному стандарті ГОСТ 30313-95 «Угли каменные и антрациты (угли среднего и высокого рангов). Кодификация» передбачено визначення індексу вільного спучування (FSI) за ДСТУ 7599:2014, як одного з восьми параметрів кодування кам'яного вугілля для коксування [18].

Для розуміння якій марці належить те чи інше вугілля при обранні у сировинну базу коксування українських підприємств та зручності формування прогнозних складів вугільних шихт розроблена таблиця 1.4 співвідношення показників якості які використовуються в Європі та світі з класифікацією України. Необхідно відзначити, що це умовне розділення та не стосується класифікації за ДСТУ, а тільки допомагає при виборі імпортованих концентратів. Класифікацію за стандартом можна здійснити при отриманні вугілля на підприємстві і проведенні належної оцінки якості за класифікаційними показниками та за схемою контролю вхідної сировини підприємства.

У таблиці 1.4 наведено співвідношення зазначених вище показників якості з марочною приналежністю вугілля по ДСТУ 3472-96.

**Зіставлення значень показників якості вугілля, які визначаються іноземними методами, із вітчизняною класифікацією**

Показник	Марка вугілля по ДСТУ 3472-96			
	Г	Ж	К	ПС
Максимальна плинність, logFm, діл/хв	0,85-3,87	3,40-4,00	2,09-3,56	0,30-2,23
Температурний інтервал пластичності, Δt, °С	50-95	95-130	80-100	35-75
Стиснення, %	23-44	22-34	21-32	12-30
Розширення, %	-28-155	90-220	45-125	-10-25
Індекс вільного спучування, FSI	2-7	7-8 <sup>1/2</sup>	7-8 <sup>1/2</sup>	31/2-8 <sup>1/2</sup>
Індекс Рогу. од	47-84	77-90	61-80	16-65

Примітка. Джерело: розроблено автором

Використовуючи дану таблицю при наявності сертифіката якості на іноземне вугілля, можна оперативно проаналізувати його марочну приналежність і визначити його раціональну участь у шихті [13].

### **1.2.2 Технологічні властивості вугілля сировинної бази коксування**

Вугілля, яке застосовується для коксування, надходить на завод з багатьох басейнів, воно неоднорідне за речовинним складом й має широкий діапазон технологічних властивостей. Підготовлена ж до коксування шихта, залежно від вимог до металургійного коксу, повинна мати цілком певні якісні показники, які

обумовлені не тільки технологічними властивостями вугілля, але й методами їхньої підготовки [19].

Вугільні концентрати, що надходять на коксохімічне виробництво, володіють багатьма специфічними особливостями, це необхідно враховувати при складанні шихт для коксування й при їхній підготовці до коксування в операціях складування, дроблення тощо.

Відомі схеми підготовки вугілля і шихт перед коксуванням розроблені роздільно для петрографічно однорідного вугілля Донбасу й петрографічно неоднорідного вугілля Кузбасу. Це обумовлено різними технологічними властивостями великих і дрібних класів цього вугілля. У російському вугіллі підвищеною зольністю володіють великі класи, а у донецькому ж вугіллі мінеральна частина зосереджена в дрібних класах [20].

Вугільні концентрати Донбасу є в основному петрографічно однорідними й мають суму спікливих компонентів до 90%. Відмінною рисою вугілля Донбасу є підвищений вміст загальної сірки - до 2,7% і більше. Це явище генетично обумовлене підвищеним вмістом піритної сірки.

Вугілля Росії представлене низькосірчаними, слабоспікливими вугільними концентратами. Сума спікливих компонентів становить 30 - 60%. Вугілля Печорського й Кузнецького басейнів петрографічно неоднорідне. Вугілля представлене в основному марками К, КП, КЖ, воно добре спікається, малосірчане (вміст сірки не перевищує 1%). Вугілля Печорського басейну більш петрографічно однотипне, ніж кузнецьке. Вміст фосфору не перевищує 0,1% (від 0,01 до 0,03%). Коксівність вугілля добра.

Австралійське й канадське вугілля характеризується середнім виходом легких речовин, а також високим вмістом інертиніту. Це вугілля має високу спікливість (товщина пластичного шару 12 і 24 мм)

Американське вугілля характеризується низькою зольністю й вмістом сірки, а також доброю спікливістю.

Аналіз результатів досліджень показує, що властивості міцності доменного коксу істотно залежать від властивостей вугільної шихти і її компонентного

складу [20]. Також найважливішою умовою стабільності коксу є рівномірність у часі зольності, виходу летких речовин, вмісту загальної вологи й загальної сірки, спікливості, коксівності, гранулометричного складу й насипної щільності вугільної шихти.

Тому для одержання стабільного й задовільного за якістю коксу необхідний раціональний розподіл коксівного вугілля і підбір шихт оптимального для підприємства складу [21].

У наш час використовують дві характеристики міцності металургійного коксу: гарячу міцність (міцність коксу після реакції з діоксидом вуглецю при 1100°C) і холодну міцність (механічну). Показники механічної міцності характеризують поведінку коксу в процесі транспортування й завантаження його в доменну піч. Висока міцність коксу в холодному стані гарантує газопроникність шихтових матеріалів в «сухий» зоні доменної печі. Показник гарячої міцності CSR більш точно визначає якість коксу, оскільки характеризує його поведінку в доменній печі в процесі виплавки металу (цей показник ураховує ступінь механічного руйнування коксу після його попередньої газифікації) [22]. Індекс CRI (індекс реакційної здатності), що корелює з CSR, повинен бути якомога нижчим, щоб зрушити реакцію взаємодії коксу із CO<sub>2</sub> до високих температур, але при цьому залишатися в межах, які гарантують задовільне науглецьовування гарячого металу [22]. Реакційна здатність коксу істотно впливає на роботу доменної печі, особливо на температуру й газові профілі. Тому перед коксохімічним виробництвом поставлене завдання досягти високих стандартів якості доменного коксу за показниками CSR, CRI, S<sub>t</sub><sup>d</sup>, A<sup>d</sup>, M<sub>25</sub>, M<sub>10</sub>.

На формування рівня "гарячої" міцності коксу в основному впливають:

- генетичні особливості використовуваного вугілля, виражені показниками відбиття вітриніту, сумою інертних компонентів, показниками пластичних властивостей органічної маси вугілля;

- вміст загальної сірки у вугільних концентратах є переважаючим чинником, що впливає на "гарячу" міцність коксу, й це підтверджують дослідні ящики коксування окремих марок коксівних вугільних концентратів.

- хімічний склад мінеральної частини - наявність з'єднань сірки й заліза, а також вміст лужних металів;

- технологічні фактори - підвищення насипної щільності при оптимальному помолі, зменшення періодів коксування й збільшення кінцевої температури коксу [23].

Рівень реакційної здатності коксу залежить як від петрографічного складу вугільних шихт, так і від ступеня метаморфізму вихідного вугілля.

Теоретичне та експериментальне обґрунтування головних напрямків поліпшення властивостей коксу дозволило сформулювати вимоги до коксу підвищеної якості, призначеного для використання в доменних печах одночасно з пиловугільним паливом. Ці вимоги були узагальнені в технічних умовах ТУ У 23.1-00190443-086:2006, розроблених Українським державним науково-дослідним вуглехімічним інститутом УХІН згідно із завданням ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» та затверджених у встановленому порядку. Вперше в Україні до технічних умов введені показники реакційної здатності та післяреакційної міцності коксу згідно з міжнародним стандартом ISO 18894:2006, на підставі якого в Україні з 01.01.2008 був введений в дію ДСТУ 4703:2006.

Виходячи з наведених даних, вугільна сировина для виробництва високоякісного коксу повинна мати достатню спікливість, низькі зольність та сірчаність, сприятливий склад мінеральної частини (індекс основності золи  $I_0$  має не перевищувати 0,2) [25]. В результаті комплексного дослідження властивостей вугілля шахти «Покровська», виконаного фахівцями ПрАТ «Донецьксталь» – МЗ» та УХІНу, встановлено, що це вугілля відповідає наведеним вище вимогам, але є маловідновленим, тобто нетиповим для Донецького басейну. Класифікація українського вугілля за ДСТУ 3472-96 не передбачала сукупності параметрів, характерної для вугілля шахти «Покровська», що не давало можливості віднести його до певної технологічної марки. В той же час співставлення технологічних властивостей цього вугілля з типовими зразками коксівного вугілля Донецького басейну засвідчило, окрім низької сірчистості та сприятливого складу

мінеральної частини, його добру коксівність, тобто здатність утворювати при нагріві без доступу повітря міцний мало реакційноздатний кокс. Експериментально встановлений в УХІНі коефіцієнт технологічної цінності цього вугілля має максимальне значення – 1,0. Це дало підставу в новій редакції ДСТУ 3472:2010 «Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація» виділити вугілля шахти «Покровська» в окрему технологічну групу К1 (вугілля коксове перше).

Розроблені склади шихт для отримання високоякісного коксу характеризуються товщиною пластичного шару у в межах 13-15 мм, що забезпечує достатню спікливість. Сірчистість  $S_t^d \leq 1,1$  % та індекс основності золи  $I_o = 0,20-0,22$  дають можливість отримання коксу з низькою реакційною здатністю та високою післяреакційною міцністю. Низький рівень зольності шихти дає можливість отримувати низькозольний кокс, що є передумовою для зниження його витрати при виплавленні чавуну та інтенсифікації роботи доменних печей. Шихта має значення середнього показнику відбивання вітриніту більше від 1,00 %, що забезпечує її достатню коксівність.

Теоретично обґрунтований та експериментально визначений потрібний рівень подрібнення шихти – до 79-83 % вмісту класу менше 3 мм. Це забезпечує оптимальне співвідношення між кількістю утворюваних при термічній деструкції рідкорухливих продуктів та величиною змочуваної ними поверхні.

При розробці технологічних параметрів коксування виходили з того, що загальна швидкість процесу має забезпечувати достатню глибину здійснення термохімічних поліконденсаційних процесів на стадії коксоутворення і в той же час давати можливість технічно та економічно ефективно використовувати наявний пічний фонд. Дослідно-промисловими коксуваннями показано, що ці умови виконуються при швидкості коксування 25-28 мм/годину. Належна готовність коксу досягається при рівні кінцевих температур коксування за віссю пирога 1100-1150 °С. Цей рівень температур забезпечує також потрібну міцність коксового пирогу при його вивантаженні з камери.

Завершальною стадією формування властивостей коксу на коксохімічному підприємстві є післяпічна обробка, найпрогресивніший елемент якої – сухе гасіння – протягом тривалого часу в широких масштабах використовується на ПАТ «АКХЗ». Це дає можливість стабільного зниження вологості коксу до 0,5-1,5 %, утилізації тепла розпеченого коксу, поліпшення його властивостей внаслідок витримування в форкамері та додаткового накладання механічних зусиль в форкамері і камері гасіння. Зокрема, реакційна здатність коксу знижується на 3-5 %, а післяреакційна міцність поліпшується на 5-8 %. Важливе значення для успішної експлуатації установок сухого гасіння коксу мають виконані ПАТ «АКХЗ» та УХІНом в останні роки роботи з визначення виходу коксу [26], зниження його втрат при частковій газифікації та поліпшення екологічних показників, розподіла температур за висотою та перетином камер сухого гасіння. Енергозберігаючий ефект від використання сухого гасіння коксу, визначений за методикою ДСТУ 4370:2011 «Енергозбереження. Коксохімічне виробництво».

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристик вугілля шахти «Любельська»

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн експлуатується з початку 50-х років минулого століття. У Нововолинському геолого-промисловому районі було збудовано 10 шахт. В даний час експлуатується дві, а одна – № 10 «Нововолинська» – майже 30 років перебуває в стадії будівництва. У Червоноградському геолого-промисловому районі було збудовано 12 шахт, в даний час закриті 5 шахт і найближчим часом підлягають закриттю ще 3 у зв'язку з вичерпанням запасів. Шахти видобувають високозольне енергетичне вугілля, яке використовується в якості сировини на регіональних теплових електростанціях.

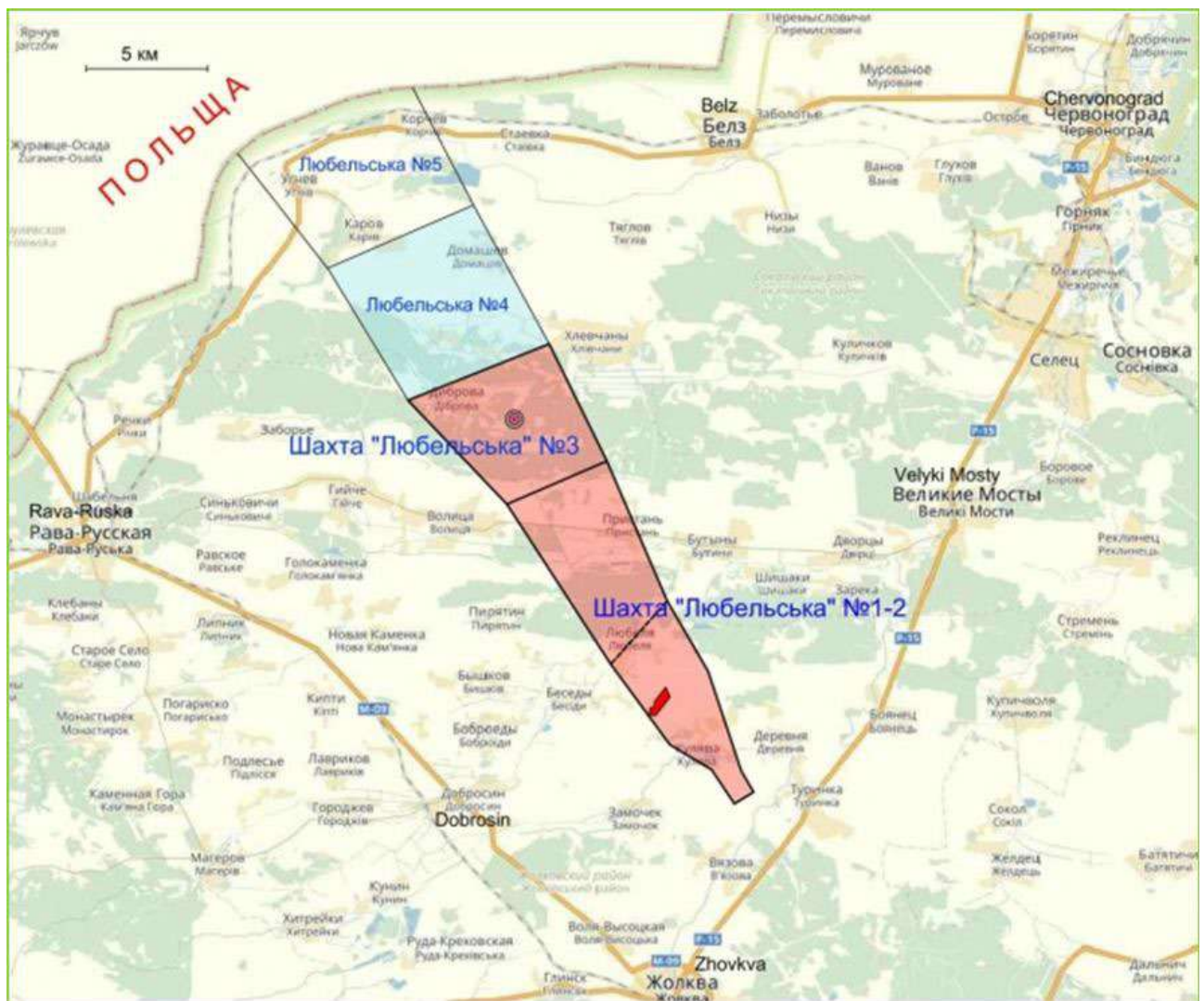
Альтернативою затуханню діяльності басейну є будівництво нових шахт на розвіданих запасах вугілля. Особливо перспективним є Любельське родовище.

Любельське родовище кам'яного вугілля (див. рис. 2.1) відкрито на початку 70-х років минулого століття. Воно знаходиться в південній частині басейну і приурочено до південно-західного геолого-промислового району. Відрізняється від інших родовищ басейну більшою глибиною залягання промислових пластів, більш високим ступенем метаморфізму вугілля і кращою якістю вугілля. Якість вугілля родовища покращується у напрямку з півночі на південь і дозволяє віднести його до найбільш дефіцитних марок коксівного вугілля.

Родовище розбито на 5 ділянок, на трьох із них – «Любельська» № 1, № 2 та № 3 – завершені геологорозвідувальні роботи і запаси затверджені в ДКЗ України. Шахта «Любельська» № 1-2 включає дві ділянки – «Любельська» № 1 та № 2 (блоки № 1 і № 2), розташовані в південній частині родовища, а в центральній частині родовища – ділянка шахти «Любельська» № 3. Балансові запаси шахти «Любельська» № 1-2 складають 153 млн. т чистого вугілля,

Балансові запаси вугілля шахти «Любельська» № 3 затверджені в кількості 124 млн. т. Геологорозвідувальні роботи на родовищі були проведені Львівською геологорозвідувальною експедицією в 1977-2008 рр. і ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля» в 2013-2016 рр [27].

Вивчення якісних показників вугільних пластів на ділянках Любельського родовища проводилися по керовому матеріалу в лабораторіях Львівської ГРЕ, Артемівській лабораторії Донецького регіонального державного геологічного підприємства, лабораторії Східного регіонального державного геологічного підприємства, м. Луганськ.



**Рис. 2.1. План Любельського родовища кам'яного вугілля**

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [27]

Оцінка збагачуваності виконувалася в лабораторії «Луганськвуглезбагачення», придатність вугілля для коксування вивчалася в Державному підприємстві «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», який також надав сертифікати по вугільних пробах згідно міжнародних стандартів. Аналіз вугільних проб, отриманих із свердловин, в період 2013-2016 рр. виконувався в сертифікованих лабораторіях ІІ «СЖС Україна» (м. Одеса), в лабораторії Головного інституту гірничої справи та в центрі по оцінці якості твердого палива, (м. Катовіце, Польща).

Для промислового освоєння на блоці № 1 шахти «Любельська» № 1-2 прийняті пласти  $n_7^1$  та  $n_7$  з середньою потужністю 1,51 м та 1,63 м, на блоці № 2 – пласти  $n_7^B$ ,  $n_7^1$ ,  $n_7$  з середньою потужністю 1,02 м, 1,15 м, 1,34 м. На полі шахти «Любельська» № 3 промислове значення мають пласти:  $b_1$ ,  $n_9$ ,  $n_8^B$ ,  $n_7^B$ ,  $n_7$ , середня потужність пластів відповідно становить 1,23, 0,79 м, 0,85 м, 0,95 м, 1,29 м. Вугільні пласти відносяться до витриманих і відносно-витриманих по потужності та характеризуються пологим заляганням.

Проект «Будівництво шахти «Любельська» № 1-2 Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну України» був розроблений профільним інститутом «Луганськдіпрошахт» у 2008 році. Цим проектом передбачено будівництво в Жовківському районі Львівської області підземної вугільної шахти виробничою потужністю 5,2 млн. т за рядовим вугіллям і 4,2 млн. т за коксівним концентратом. Проект успішно пройшов комплексну державну експертизу і отримав позитивні висновки.

ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля», як надрокористувач (спеціальний дозвіл на користування надрами від 12.04.2006 р. № 3826), отримав всі дозвільні документи та погодження від державних структур і розпочав підготовчі роботи до початку проходки стволів: зняття та складування родючого шару ґрунту, вертикальне планування території, будівництво дренажної системи, будівництво під'їзних і технологічної автодоріг, технологічних ставків тощо. Для будівництва об'єктів поверхні шахти та інженерної інфраструктури розроблені проекти відводу та укладені договори оренди земельних ділянок загальною площею

268,41 га. З метою приведення положень Проекту до міжнародних вимог у 2008-2009 рр. на замовлення ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля» консалтингова компанія Wardell Armstrong (Великобританія) виконала незалежну оцінку вугільних ресурсів з використанням методу тривимірного геологічного моделювання по полю шахти «Любельська» № 1-2 відповідно до вимог кодексу JORC і розробила Банківське Техніко-економічне обґрунтування (БТЕО) шахти «Любельская» № 1-2.

В той же час останні досягнення у світовій видобувній промисловості дозволили визначити, що потенціал майбутньої шахти може бути набагато вищий, ніж було передбачено раніше. Це спонукало керівництво компанії провести дослідження для визначення додаткових можливостей з метою поліпшення техніко-економічних показників проекту. Ці дослідження в 2010-2012 роках були доручені технічним консультантам: Інституту Економіки Мінеральних Ресурсів і Енергетики Польської Академії Наук (ИЕМРЕ ПАН), ІМС – Montan Consulting GmbH (ІМС, Німеччина) і Capital Equipment & Trading Corporation (СЕТСО, США), Хефейському дослідному та проектному інституту вугільної промисловості (Китай) та ін. Проведені дослідження доводять можливість інтенсифікації виробництва за рахунок застосування високопродуктивного обладнання, збільшення навантажень на очисний вибій і оптимізації схеми відробки шахтного поля. В результаті було встановлено, що виробнича потужність шахти може бути збільшена до 8 млн. т.

На підставі вищезазначених матеріалів ДП «Південдіпрошахт» у 2016 р. виконав коригування проекту, де виробнича потужність складає 8,0 млн. т за рядовим вугіллям і 6,3 млн. т за коксівним концентратом. На даний час завершується державна експертиза відкоригованого проекту.

Зокрема передбачається, що видобуток вугілля буде проводитись за допомогою автоматизованих стругових комплексів компанії Caterpillar (США), що дозволить довести середньодобовий видобуток вугілля з однієї лави до 6-14 тис. т (в залежності від потужності пласта). Досвід застосування такого обладнання є в сусідній Польщі на шахті «Богданка», яка працює в однакових

гірничо-геологічних умовах з шахтою «Любельська», і де середньодобовий видобуток з лави висотою 1,5 м складає 15-16 тис. т. [27].

Видобуте вугілля буде збагачуватися на власній збагачувальній фабриці. Проект фабрики розроблений американською компанією SETCO, що має великий досвід в розробці технологій збагачення. Автоматичне налаштування параметрів процесу збагачення і постійний оперативний контроль дозволять виробляти концентрат високої якості, на рівні кращого коксівного вугілля на світовому ринку. Товарна продукція – коксівний вугільний концентрат найбільш дефіцитних марок К і Ж за українською класифікацією, або коксівне вугілля класу НСС «Premium Low Vol» за міжнародною класифікацією – матиме зольність 4-6 % і вміст сірки до 1 %.

Проектна потужність фабрики по збагаченню рядового вугілля становить 9 млн. т/рік. Фабрика буде екологічно чистою, оскільки працює за замкненою водно-шламовою схемою і не передбачає застосування термічної сушки – зневоднення шламів відбуватиметься механічним способом за допомогою стрічкових пресфільтрів. Не передбачається і застосування флотації, де використовуються хімічні речовини.

Що стосується охорони довкілля, то проект розроблений відповідно до міжнародних вимог для вугільної промисловості в області екології, здоров'я і безпеки.

Передбачені проектом методи захисту максимально зменшують викиди в атмосферу, забруднення ґрунтів і ґрунтових вод шкідливими речовинами.

У табл. 2.1 наведено порівняння основних техніко-економічних показників шахти «Любельська», ш/у «Покровське» і шахти «Bogdanka» (Польща). Дані щодо Шахтоуправління «Покровське» наведені тому, що воно займає провідне положення у виробництві коксівного вугілля на Україні.

Як видно з табл. 2.1, шахта «Любельська» має кращі виробничі показники і значно нижчу собівартість вугілля при роботі в більш сприятливих гірничо-геологічних умовах.

Таблиця 2.1

**Порівняння основних техніко-економічних показників шахти  
«Любельська», ш/у «Покровське» і шахти «Bogdanka» (Польща)**

Показники	Одиниці вимірювання	Bogdanka енергетичне вугілля (2016 р.)	Ш/у «Покровське» коксівне вугілля (2013 р.)	«Любельська» коксівне вугілля (усереднені за 2020-2027 рр.)
Гірничо-геологічні умови:				
Потужність пластів	м	1,4-3,2	0,6-2,7	1,0-1,85
Глибина залягання пластів	м	920-960	915-1400	690-960
Кут залягання пластів	град.	0-5	2-23	0-7
Газоносність: <5м <sup>3</sup> /т – I категорія, >15м <sup>3</sup> /т – надкатегорійна	м <sup>3</sup> /т	до 5	10-30	до 1
Викиднебезпечність		безпечна	небезпечна	безпечна
Температура вміщуючих порід (> 28 °С потрібне кондиціонування повітря)	°С	29-31	24-45	24-27
Експлуатаційна зольність вугілля	%	до 35	до 39,6	до 21
Кількість видобутого рядового вугілля	млн.т/рік	12,0	8,6	8,0
Відсоток виходу концентрату	%	62,8	55-57	77,1-81,7
Собівартість товарної продукції	дол./т	34,8	84,31	26,60

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таким чином, шахта «Любельська» матиме значно нижчі витрати виробництва на тону товарної продукції в порівнянні з іншими шахтами при роботі в більш сприятливих гірничо-геологічних умовах. Шахта «Любельська» постачатиме на ринок коксівний концентрат вищої якості.

## 2.2 Технологічні властивості і якісні характеристики збагаченого вугілля шахти «Любельська»

Властивості збагаченого вугілля шахти «Любельська» відповідають властивостям кращих марок коксівного вугілля, представлених на світовому ринку, які використовуються для виробництва високоякісного металургійного коксу.

Нижче наводяться усереднені дані з якості вугільних пластів, пропонованих до розробки на ділянках Любельські № 1 і № 2 (табл. 2.2 – 2.5). У цих же таблицях для порівняння наводяться дані про якість рівно метаморфизованного вугілля Донбасу і далекого зарубіжжя [28].

Таблиця 2.2

### Порівняльна характеристика технічного аналізу вугілля ділянки Любельська № 1, донецького і зарубіжного вугілля

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 1		Україна, Донбас	Америка		Австралія
			пл. п1 <sup>7</sup>	пл. п7	шахта Суходільська Східна	штат Пенсільванія	штат Західна Вірджинія	Квінсленд шахта Peak Downs
Волога аналітична	%	W <sup>a</sup>	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	1,0
Зольність	%	A <sup>d</sup>	5,1	4,3	8,2	7,0	6,4	9,8
Вихід летких речовин	%	V <sup>daf</sup>	24,6	24,4	24,5	25,8	25,0	22,9
Вміст загальної сірки	%	S <sup>d<sub>t</sub></sup>	0,98	0,76	1,19	1,00	0,75	0,61
Нелеткий вуглець	%	FC <sup>d</sup>	71,6	72,4	69,3	69,0	70,2	69,5

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таблиця 2.3

**Порівняльна характеристика елементного складу вугілля ділянки  
Любельська № 1, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 1		Україна, Донбас	Америка		Австралія
			пл. п1 <sup>7</sup>	пл. п7	шахта Суходільська Східна	штат Пенсільванія	штат Західна Вірджинія	Квінсленд шахта Peak Downs
Вуглець	%	C <sup>daf</sup>	90,2	89,7	88,8	88,7	90,9	89,1
Водень	%	H <sup>daf</sup>	5,1	5,1	5,4	4,7	4,7	4,9
Азот	%	N <sup>daf</sup>	1,4	1,3	1,7	1,1	1,5	2,0
Сірка	%	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	0,98	0,76	1,2	1,0	0,7	0,7
Кисень	%	O <sup>daf</sup>	2,3	3,1	2,9	4,5	2,2	3,3

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таблиця 2.4

**Порівняльна характеристика петрографічного складу вугілля  
ділянки Любельська № 1, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 1		Україна, Донбас	Америка		Австралія
			пл. п1 <sup>7</sup>	пл. п7	шахта Суходільська Східна	штат Пенсільванія	штат Західна Вірджинія	Квінсленд шахта Peak Downs
Вітриніт	%	V <sub>t</sub>	73	64	92	88	71	72
Семівитриніт	%	S <sub>v</sub>	2	3	1	3	6	9
Інертиніт	%	I	25	33	7	9	23	19
Ліптиніт	%	L	0	0	0	0	0	0
Середній довільний показник відбиття вітриніту	%	R <sub>o</sub>	1,30	1,32	1,32	1,31	1,31	1,32

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

**Порівняльна характеристика пластично-в'язких показників вугілля ділянки Любельська № 1, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 1		Україна, Донбас	Америка		Австралія
			пл. п1 <sup>7</sup>	пл. п7	шахта Суходільська Східна	штат Пенсільванія	штат Західна Вірджинія	Квінсленд шахта Peak Downs
Товщина пластичного шару	мм	y	17	17	20	22	21	17
Індекс вільного спучування	ед.	FSI	8 1/2	8	9	9	9	8 1/2
Тип коксу за Грей-Кінгом		GK	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	G <sub>7</sub>
Ділатометричні показники за Одібром-Арну:								
стиснення	%	a	25	25	25	29	26	25
розширення	%	b	90	68	157	175	150	80
температура початку пластичного стану	°C	t <sub>I</sub>	385	390	390	391	393	400
температура максимального стиснення	°C	t <sub>II</sub>	440	445	425	416	438	435
температура максимального розширення	°C	t <sub>III</sub>	485	485	475	468	493	480
9. Показники плинності в пластичному стані за Гізелером:								
максимальна плинність	поділок шкали/хв	F <sub>max</sub>	1720	1650	1440	2000	1500	1350
температура початку пластичного стану	°C	t <sub>1</sub>	375	380	400	396	397	420
температура максимальної плинності	°C	t <sub>max</sub>	455	455	465	457	471	470
температура твердіння	°C	t <sub>3</sub>	495	500	495	488	509	500

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Наведені дані показують, що досліджені проби вугілля пластів п<sub>7</sub>; п<sub>7</sub><sup>1</sup> ділянки Любельська № 1 за технологічними властивостями, петрографічними характеристиками і елементним складом відносяться до вугілля марки К у відповідності з ДСТУ 3472:2015 [10]. Встановлена марочна приналежність підтверджена результатами дослідних коксувань шихт, виконаних в ДП «УХІН» на лабораторній п'ятикілограмовій печі конструкції УХІНу, в яких проводилася заміна типового донецького вугілля марки К на вугілля ділянки Любельська № 1.

Вугілля ділянки Любельська № 2 за всіма комплексом вивчених властивостей займає проміжне положення між вугіллям марок К і Ж. За показником відбиття вітриніту, високим рівнем спікливості і спікливою здатністю вони близькі до жирного вугілля, а по виходу летких речовин, елементному складу та теплоті згоряння – до коксівного вугілля. В класифікації країн-членів СНД ГОСТ 25543-88 це вугілля відносять до марки КЖ.

Дослідні коксування показали, що вони рівноцінні в шихті при заміні як донецького жирного, так і коксівного вугілля.

Аналоги вугілля, що розглядається, є не тільки в Донецькому басейні, а також серед американського і австралійського вугілля, що постачається в сировинну базу коксохімічних заводів України.

Оцінка марочної приналежності вугілля проводиться тільки у країнах СНД. У більшості вуглевидобувних країн, що постачають на світовий ринок коксівне вугілля, в сертифікатах якості, як правило, наводяться показники технічного аналізу, елементний і петрографічний склад, середній довільний показник відбиття вітриніту і його рефлектограма, а також комплекс показників, що характеризують пластично-в'язкі властивості вугілля.

Зазначений комплекс показників є обов'язковим. У зв'язку з цим порівняльний аналіз показників якості вугілля ділянок Любельські № 1 і № 2, а також вугілля України та зарубіжного вугілля, проводиться з урахуванням обов'язкового набору параметрів, наведених у сертифікатах якості.

В якості аналогів вугілля ділянок Любельські № 1 та № 2 було прийнято вугілля інших родовищ і країн, близьких за стадією метаморфізму, що

характеризується показником відбиття вітриніту. Як видно з даних табл. 2.2, аналогами вугілля ділянки Любельська № 1 є вугілля однієї шахти Донецького басейну, двох американських шахт і однієї австралійської шахти.

Аналіз наведених в табл. 2.2 даних показує, що за вмістом сірки вугілля ділянки Любельська № 1 близьке до малосірчистого американського і австралійського вугілля. Вугілля Донецького басейну характеризуються помітно більшим вмістом сірки. Елементний склад розглянутого вугілля близький, що обумовлено близькістю його стадій метаморфізму, яка характеризується показником відбиття вітриніту.

У вугілля ділянки Любельська № 1 у вітриніті (табл. 2.4) найбільш широко (75-90 %) представлені складові, що мають показник відбиття в межах 1,21-1,39 %. Слід зазначити, що саме ця група складових вітриніту визначає високу коксівність розглянутого вугілля. Все вугілля, властивості якого наведені у табл. 2.5 має товщину пластичного шару, що змінюється в межах від 17 до 22 мм, яка для вугілля даної стадії метаморфізму свідчить про його здатність в процесі термічної деструкції утворювати значну кількість термостійких рідкорухомих продуктів. Останнє, в свою чергу, визначає можливість цього вугілля приймати максимальну кількість піснуватих присадок, забезпечуючи при цьому отримання міцного коксу, що підтверджується значеннями типу коксу за Грей-Кінгом.

Розглянуте вугілля утворює в процесі нагріву пластично-в'язку масу, яка характеризується оптимальною плинністю, що визначається методом Гізелера. Це забезпечує її відносно невисоку газопроникність і, відповідно, помітне спучування, зафіксоване методами Одібера-Арну і вільного спучування.

Достатня кількість термостійких рідкорухомих продуктів і їх оптимальна в'язкість забезпечують високий внутрішньопластичний тиск, що розвивається цим вугіллям при нагріванні. Це, в свою чергу, покращує контактну взаємодію деструкуючих зерен вугілля і забезпечує високу щільність і міцність тіла напівкоксу і коксу.

Таким чином, проведений порівняльний аналіз складу та властивостей вугілля пластів  $n_7$  і  $n_7^1$  ділянки Любельська № 1 і аналогічного за стадією

метаморфізму вугілля Донецького басейну, а також Америки (США) і Австралії показав, що вугілля ділянки Любельська № 1 за технологічною цінністю не поступається кращим зразкам коксівного вугілля України, США та Австралії. У вуглевидобувних країнах ближнього зарубіжжя (Польща, Росія) таке вугілля взагалі не представлено в ресурсах для коксування.

В табл. 2.6 – 2.9 наведені дані про властивості вугілля, аналогічного за показником відбиття вітриніту вугіллю пластів  $n_7$ ,  $n_7^1$  і  $n_7^B$  ділянки Любельська № 2. Аналоги зазначених пластів вугілля є в Донецькому басейні, США та Австралії. Все вугілля, зазначене в табл. 2.6 – 2.9, видобувається на діючих вуглевидобувних підприємствах і використовуються для коксування.

Таблиця 2.6

**Порівняльна характеристика технічного аналізу вугілля ділянки  
Любельська № 2, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 2,			Україна Донбас	Америка штат Західна Вірджинія	Австралія Квінсленд шахта Goonyella
			пл. $n_7$	пл. $n_7^1$	пл. $n_7^B$			
Волога аналітична	%	$W^a$	1,0	1,0	1,1	1,2	0,9	1,0
Зольність	%	$A^d$	5,4	6,5	5,9	5,3	8,5	9,0
Вихід летких речовин	%	$V^{daf}$	25,9	25,5	25,9	25,7	25,9	26,3
Вміст загальної сірки	%	$S_t^d$	0,62	1,10	1,20	2,54	0,79	0,56
Нелеткий вуглець	%	$FC^d$	70,1	69,7	69,7	70,4	67,8	67,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таблиця 2.7

**Порівняльна характеристика елементного складу вугілля ділянки  
Любельська № 2, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 2,			Україна Донбас	Америка штат Західна Вірджинія	Австралія Квінсленд шахта Goonyella
			пл. n <sub>7</sub>	пл. n <sup>1</sup> <sub>7</sub>	пл. n <sup>B</sup> <sub>7</sub>			
Вуглець	%	C <sup>daf</sup>	89,6	89,20	88,7	88,7	90,1	88,9
Водень	%	H <sup>daf</sup>	5,2	5,0	5,3	5,2	5,0	5,0
Азот	%	N <sup>daf</sup>	1,7	1,5	1,5	1,0	1,7	1,9
Сірка	%	S <sup>d<sub>t</sub></sup>	0,6	1,1	1,2	2,5	0,8	0,6
Кисень	%	O <sup>daf</sup>	2,9	3,2	3,3	2,6	2,4	3,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таблиця 2.8

**Порівняльна характеристика петрографічного складу вугілля  
ділянки Любельська № 2, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 2,			Україна Донбас	Америка штат Західна Вірджинія	Австралія Квінсленд шахта Goonyella
			пл. n <sub>7</sub>	пл. n <sup>1</sup> <sub>7</sub>	пл. n <sup>B</sup> <sub>7</sub>			
Віترینіт	%	V <sub>t</sub>	67	69	68	94	65	66
Семівіترینіт	%	S <sub>v</sub>	1	0	1	0	9	7
Інертиніт	%	I	28	26	26	6	22	26
Ліптиніт	%	L	4	5	5	0	4	1
Середній довільний показник відбиття віترینіту	%	R <sub>o</sub>	1,16	1,17	1,14	1,19	1,17	1,15

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Таблиця 2.9

**Порівняльна характеристика пластично-в'язких показників вугілля ділянки Любельська № 2, донецького і зарубіжного вугілля**

Найменування показника властивостей	Одиниця вимірювання	Індекс показника	Найменування вугілля					
			Ділянка Любельська № 2,			Україна	Америка	Австралія
			пл. n <sup>1</sup> <sub>7</sub>	пл. n <sup>B</sup> <sub>7</sub>	Донбас	штат Західна Вірджинія	Квінсленд шахта Goonyella	
Товщина пластичного шару	мм	y	22	23	22	20	23	19
Індекс вільного спучування	ед.	FSI	9	8 1/2	9	9	8	8
Тип коксу за Грей-Кінгом		GK	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	>G <sub>8</sub>	G <sub>8</sub>
Ділатометричні показники за Одібром-Арну:								
стиснення	%	a	23	25	27	33	29	26
розширення	%	b	185	180	182	179	205	160
температура початку пластичного стану	°C	t <sub>I</sub>	390	385	390	395	364	375
температура максимального стиснення	°C	t <sub>II</sub>	430	435	430	435	415	425
температура максимального розширення	°C	t <sub>III</sub>	490	490	485	475	477	470
9. Показники плинності в пластичному стані за Гізелером:								
максимальна плинність	поділок шкали /хв	F <sub>max</sub>	3500	3550	3450	2500	5200	1150
температура початку пластичного стану	°C	t <sub>1</sub>	370	370	375	400	387	405
температура максимальної плинності	°C	t <sub>max</sub>	450	455	455	460	454	455
температура твердіння	°C	t <sub>3</sub>	495	490	490	495	498	495

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Як видно з наведених в таблицях 2.6 – 2.9 даних, порівнюване вугілля має близькі значення показників виходу летких речовин і середнього довільного показника відбиття вітриніту, що свідчить про близькість стадій метаморфізму. Досить близьке воно й за елементним складом (табл. 2.7). За вмістом сірки вугілля Донецького басейну різко відрізняється від іншого вугілля. Для нього характерне високе значення цього показника. Вугілля Донецького басейну також різко відрізняється за петрографічним складом від іншого вугілля (табл. 2.8). Так, вміст мацералів групи вітриніту становить у нього 94 %, в той час як для іншого вугілля воно знаходиться в межах 65-69 % за рахунок високого вмісту мацералів групи інертиніту.

У вітриніті вугілля ділянки Любельська № 2 (табл. 2.8) та його аналогів міститься підвищена кількість (75-87 %) складових з показником відбиття в межах від 1,0 до 1,19 %. Як відомо, саме ці складові вітриніту визначають спікливість вугілля. Чим вище їх кількість, тим, як правило, вище спікливість вугілля в цілому.

Дійсно, дані про пластично-в'язкі властивості вугілля підтверджують це положення (табл. 2.9). Все вугілля має високі значення товщини пластичного шару. Утворювана при нагріванні цього вугілля пластична маса характеризується високою плинністю, яка визначається методом Гізелера, що зумовлює її низьку газопроникність і, відповідно, високі значення спучування, що фіксуються методом Одібера-Арну і вільного спучування.

Велика кількість рідко-рухомих продуктів забезпечує хороше змочування інертних складових як органічної маси самого вугілля, так і присадок неспікливих або слабкоспікливих компонентів, сприяючи тим самим поліпшенню процесів їх взаємодії. Вугілля зазначеного типу дозволяє використовувати в шихті максимальну кількість присадного вугілля без погіршення показників міцності коксу, що підтверджується даними, отриманими за методом Грей-Кінга.

В табл. 2.10 наведені дані про хімічний склад золи вугілля ділянок Любельські № 1 і № 2.

Таблиця 2.10

**Хімічний склад золи, лужно-кислотне відношення і індекс основності  
вугілля ділянок Любельська № 1 і № 2**

Найменування ділянки, пласта	Хімічний склад золи (окисли елементів), %								I <sub>o</sub>	I <sub>o</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>		
Любельська № 1										
пл. п7	41,10	28,76	8,73	1,26	8,06	0,91	0,97	8,25	0,285	1,93
пл. п7 <sup>1</sup>	40,23	29,39	8,73	1,26	8,06	0,91	1,05	7,70	0,287	1,63
Любельська № 2										
пл. п7 <sup>B</sup>	42,20	33,15	9,28	1,01	5,96	1,0	0,77	4,11	0,239	1,74
пл. п7 <sup>1</sup>	40,51	30,28	7,73	0,88	8,24	1,15	0,88	5,42	0,267	2,33
пл. п7 <sup>B</sup>	42,32	25,18	14,96	1,01	7,46	0,98	0,73	5,93	0,372	2,96

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [28]

Тут же наводяться значення лужно-кислотного відношення I<sub>o</sub> і основності вугілля I<sub>o</sub>.

Лужно-кислотне відношення I<sub>o</sub> розраховано за формулою:

$$(2.1)$$

де Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – окиси відповідних металів, %.

Основність вугілля визначається за наступною формулою:

$$I_o = \frac{100 \cdot A^d \cdot (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf}) \cdot (Al_2O_3 + SiO_2)} \quad (2.2)$$

де A<sup>d</sup> – зольність, V<sup>daf</sup> – вихід летких речовин.

Промислова практика показала, що величина індексу основності вугілля  $I_o$  має важливу роль при визначенні його технологічної цінності, так як визначає реакційну здатність і постреакційну міцність коксу, отриманого з цього вугілля. Бажано, щоб індекс основності вугілля не перевищував значення, рівного 2,5. Як видно з даних табл. 2.10, тільки вугілля пласта  $n_7$  в ділянки Любельська № 2 перевищує вказане граничне значення. У всіх інших вугіллях індекс основності коливається в межах 1,63-2,33. Це, у комплексі з іншими параметрами, сприяє підвищенню технологічної цінності вугілля ділянок Любельські № 1 і № 2.

Вугілля пластів  $n_7$ ,  $n_7^1$  і  $n_7$  В шахти «Любельська» № 1-2 є цінним компонентом вугільної шихти, так як без вугілля такого типу неможливо забезпечити її раціональну компоновку, що задовольняє як вимогам існуючої технології коксування, так і сприяє виробництву високоякісного коксу.

Вугілля ділянок Любельські № 1 і № 2 має високу технологічну цінність, як сировина для коксування, і відповідає кращим світовим аналогам. Воно може мати підвищений попит як в Україні, так і в європейських країнах, що імпортують вугілля для коксування [28].

Для подальшої оцінки можливості використання у сировинній базі коксування вугілля ш. Любельська розробимо склади шихт з найпоширенішими компонентами сировинної бази підприємств України за останні 3 роки, та зробимо прогноз якості коксу з розроблених варіантів.

### **2.3 Комплексне дослідження технологічних властивостей вугілля, що входить у сировинну базу підприємств України**

Результати досліджень вугільних концентратів, що були обрані для розрахунку модельних вугільних шихт наведені в табл. 2.11-2.14. Можна відзначити, що в для експерименту до складу вугільної шихти обрані компоненти як українських, так і зарубіжних постачальників, зокрема, США.

## Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Тиск розпирання, кПа	Коефіцієнт размолотості по Хардгрову, ед.
		$A^d$	$S_t^d$	$V^{daf}$	$x$	$y$	$P_n$	$HGI$
ЗФ «Жовтнева», Україна	Г	7,3	1,49	39,6	41	15	2,2	41
ЗФ «Добропільська», Україна	ГЖП	7,0	1,72	39,4	50	13	2,5	45
Wellmore, США	Ж	7,9	1,05	33,2	19	22	5,5	65
Carter Roag, США	Ж	8,4	1,20	32,2	12	22	5,5	65
ЗФ «Свято-Варваринська», Україна	К	8,8	0,70	26,9	15	15	18,0	66
Rosahontas, США	ПС	8,0	0,72	18,3	5	12	25,8	84

Примітка. Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.12

## Петрографічна характеристика вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Петрографічний склад мінеральних домішок), % (без					Середній показник відображення вітриніту, % $R_0$	Стадії метаморфізму вітриніту, %							
								Менше 0,50	0,50- 0,79	0,80-0,89	0,90- 1,19	1,20- 1,49	1,50- 1,69	1,70- 2,59	
		Марки вугілля, що умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту							Д	ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	Т
		$Vt$	$Sv$	$I$	$L$	$\Sigma OK$									
ЗФ «Жовтнева», Україна	Г	68	0	23	9	23	0,72	4	77	4	15	0	0	0	
ЗФ «Добропільська», Україна	ГЖП	75	0	16	9	16	0,72	4	63	27	6	0	0	0	
Wellmore, США	Ж	83	1	14	2	15	0,98	0	3	14	71	12	0	0	
Carter Roag, США	Ж	84	1	14	1	15	1,00	0	0	9	91	0	0	0	
ЗФ «Свято- Варваринська», Україна	К	88	1	9	2	10	1,19	0	0	0	56	44	0	0	
Rosahontas, США	ПС	81	0	19	0	19	1,55	0	0	0	0	39	55	6	

Примітка. Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.13

## Елементний склад вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Елементний склад, %				
		$C^{daf}$	$H^{daf}$	$N^{daf}$	$S_t^d$	$O_d^{daf}$
ЗФ «Жовтнева», Україна	Г	81,93	6,13	2,56	1,49	7,89
ЗФ «Добропільська», Україна	ГЖП	85,40	5,69	1,55	1,72	5,64
Wellmore, США	Ж	87,34	5,68	1,63	1,05	4,30
Carter Roag, США	Ж	86,88	5,58	1,44	1,20	4,90
ЗФ «Свято-Варваринська», Україна	К	86,64	5,74	1,62	0,70	5,30
Pocahontas, США	ПС	90,76	5,00	1,32	0,72	2,20

Примітка. Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.14

**Хімічний склад золи вугільних концентратів**

Постачальник, країна	Марка	Хімічний склад золи (оксиди елементів), %								Іо	Ію
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>		
ЗФ «Жовтнева», Україна	Г	44,20	22,54	9,48	2,77	8,41	0,80	1,37	6,89	0,34	4,13
ЗФ «Добропільська», Україна	ГЖП	45,75	23,18	8,23	2,52	7,01	1,39	1,54	6,31	0,30	3,47
Wellmore, США	Ж	51,83	26,09	12,31	1,10	1,59	0,70	2,29	2,16	0,23	2,73
Carter Roag, США	Ж	51,19	30,58	9,84	1,56	0,99	2,39	0,42	0,72	0,19	2,30
ЗФ «Свято-Варваринська», Україна	К	53,12	28,45	6,13	1,86	1,03	2,20	3,20	1,98	0,18	2,13
Pocahontas, США	ПС	53,65	31,67	6,83	0,88	0,96	1,28	0,94	0,36	0,13	1,25

Примітка. Джерело: розроблено автором

В таблиці 2.11 представлені результати визначення показників технічного аналізу (зольність, вміст сірки, вихід летких речовин), пластометричного аналізу (товщина пластичного шару, пластометрична усадка), тиску розпирання та коефіцієнта розмелоздатності за Хардгровом.

Газове вугілля ЗФ «Жовтнева» та ЗФ «Добропільська», має найвищі значення вмісту сірки, а показники виходу летких речовин і товщини пластичного шару відповідають марці, також ці концентрати характеризуються низьким коефіцієнтом розмелоздатності за Хардгровом – 41 од. і 45 од.

Американське вугілля марки Ж – Wellmore та Carter Roag за своїми характеристиками досить схоже між собою. Так, рівень летких речовин становить 33,2-32,2 %, товщина пластичного шару – 22 мм, вміст сірки – 1,05-1,20 %. Але вугілля Wellmore має нижчий, порівняно з Carter Roag, вміст золи (7,9 та 8,2 % відповідно), та HGI дорівнює 65 од.

Коксівне вугілля ЗФ «Свято-Варваринська» характеризується виходом летких речовин  $V^{daf} = 26,9 \%$ , товщиною пластичного шару  $y = 15$  мм. Показник HGI дорівнює 66 од.

Вугілля марки ПС (Pocahontas) має зольність 8,0 %, вміст загальної сірки 0,70 %, вихід летких речовин 18,3 %, товщина пластичного шару 12 мм. Дане вугілля найлегше подрібнюється, про що свідчить високе значення його коефіцієнту розмелоздатності (HGI = 84 од.).

Аналіз петрографічних характеристик досліджених вугільних концентратів (табл. 2.12) свідчить, що усі вони за петрографічним складом однорідні – вміст вітриніту становить 68 – 88 %. Середній довільний показник відображення вітриніту усіх концентратів відповідає марочній приналежності.

Елементний склад представлених вугільних концентратів (табл. 2.13) має характерне підвищення вмісту вуглецю від марки Г до ПС та відповідне зниження вмісту водню та кисню, що закономірно відповідає стадіям метаморфізму. Вміст сірки і азоту не є характеристикою стадії метаморфізму, а залежать від умов залягання вугілля та його відновленості [29].

За результатами аналізу таблиці 2.14 видно, що вугілля марки Г має несприятливий хімічний склад золи і відповідно зависокі значення індексу основності і не повинно приймати участі у формуванні сировинної бази коксування підприємства яке прагне отримувати кокс світової якості [10] та за умов критичного дефіциту вугілля газовою групи його широко використовують останні 3 роки. Вугільні концентрати інших марок мають сприятливий хімічний склад золи і задовільні значення індексу основності.

#### 2.4 Розробка складів модельних вугільних шихт та прогноз якості коксу

Для розробки складів вугільних шихт були залучені вугільні концентрати проаналізовані у підрозділі 2.3 та пласти вугілля ш. Любельська № 1 і Любельська № 2 з якісними показниками представленими в таблицях 2.2-2.14.

Склад розроблених шихт п'яти варіантів представлений у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15

##### Компонентний і марочний склад розроблених модельних шихт

Постачальник, країна	Марка	Дольова участь, %				
		B1	B2	B3	B4	B5
ЗФ «Жовтнева», Україна	Г	15,0	10,0	12,0	10,0	10,0
ЗФ «Добропільська», Україна	ГЖП	13,0	20,0	18,0	15,0	15,0
Wellmore, США	Ж	10,0	15,0	15,0	15,0	10,0
Carter Roag, США	Ж	20,0	15,0	10,0	15,0	15,0
ЗФ «Свято-Варваринська», Україна	К	12,0	15,0	15,0	15,0	20,0
Любельська № 1 пл. n <sub>7</sub>	К	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
Любельська № 1 пл. n <sub>7</sub> <sup>1</sup>	К	5,0	0,0	5,0	5,0	5,0
Любельська № 2 пл. n <sub>7</sub>	КЖ	5,0	5,0	0,0	5,0	5,0
Любельська № 2 пл. n <sub>7</sub> <sup>1</sup>	КЖ	5,0	5,0	5,0	0,0	5,0
Любельська № 2 пл. n <sub>7</sub> <sup>B</sup>	КЖ	0,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Rosahontas, США	ПС	10,0	5,0	10,0	10,0	10,0

Примітка. Джерело: розроблено автором

З таблиці 2.15 видно, що розроблено п'ять варіантів вугільних модельних шихт у складах яких приймали участь всі пласти вугілля Любельської шахт 1 і 2 і по черзі ми виводили зі складу один з пластів. Звісно за промислової розробки родовища і збагачення буде інший склад товарної продукції та поки він невідомий поглянемо на можливі варіанти.

Якісні показники та технологічні характеристики отриманих варіантів модельних шихт представлені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16

### Якісні показники модельних вугільних шихт

Варіант шихти	Показники якості						
	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> , %	V <sup>daf</sup> , %	y, мм	Ro, %	Vt,%	Ио, %
В.1	7,4	1,12	30,9	17,5	1,04	77,4	2,57
В.2	7,4	1,17	31,7	17,8	1,01	78,0	2,69
В.3	7,4	1,14	30,9	17,0	1,04	77,5	2,65
В.4	7,4	1,10	30,6	17,4	1,06	78,0	2,55
В.5	7,5	1,09	30,3	17,4	1,06	78,1	2,54

Примітка. Джерело: розроблено автором

Для розуміння рівня основних якісних показників коксу розрахуємо його зольність та вміст сірки за загально прийнятими формулами.

Золу коксу всіх варіантів шихт розрахуємо за формулою (2.3):

$$A_k = A_{ш} \cdot K_{оз}, \quad (2.3)$$

де  $A_{ш}$  – вміст золи в шихті, %;

$K_{оз}$  – коефіцієнт озолення (за статистичними даними попередніх періодів коефіцієнт коливається від 1,300 до 1,340).

Вміст загальної сірки в коксі розраховували за формулою (2.4):

$$S_K = S_{ш} \cdot K_{os}, \quad (2.4)$$

$S_{ш}$  – вміст загальної сірки в шихті, %;

$K_{os}$  – коефіцієнт залишкової сірки при коксування (за даними статистичної обробки складає від 0,70 до 0,90).

Результати розрахунку цих показників якості коксу модельних варіантів шихт представлені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17

### Прогнозні показники якості коксу

Варіант шихти	Показники якості			
	$A_{ш}^d$ , %	$A_K^d$ , %	$S_{ш}^d$ , %	$S_K^d$ , %
В.1	7,4	9,6	1,12	0,78
В.2	7,4	9,6	1,17	0,82
В.3	7,4	9,6	1,14	0,80
В.4	7,4	9,6	1,10	0,77
В.5	7,5	9,7	1,09	0,76

Примітка. Джерело: розроблено автором

Проаналізувавши отримані результати видно, що ми маємо цілком прийнятні показники якості коксу, які цілком задовольняють вимоги технічних умов [24].

В результаті аналізу та узагальнення досвіду використання петрографічних методів дослідження вугілля та шихт в УХІН були розроблені межі значень показника відображення для окремих груп складових вітриніту, які умовно відповідають маркам вугілля, що зазвичай використовується для коксування, незалежно від їх басейнової приналежності [30].

«Умовна» шкала відповідних стадій відбиття вітриніту маркам вугілля має наступний вигляд (табл. 2.18):

Таблиця 2.18

**Умовна шкала показників відбиття вітриніту маркам вугілля**

Стадії метаморфізму вітриніту, $R_o$ , %	Марка вугілля
Менее 0,5	Д
0,50-0,64	ДГ
0,65-0,89	Г
0,90-1,19	Ж
1,20-1,39	К
1,40-1,69	ПС
1,70-2,59	П
более 2,60	А

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [30]

Як показали дослідження, проведені на вугіллі Кузнецького басейну, Карагандинського басейну, США, Індії та ПАР, кожному значенню показника відображення вітриніту відповідають певні значення спікання та коксування, близькі для вугілля різних басейнів та країн. Так, вітриніт середніх стадій метаморфізму ( $R_o = 0,90-1,39$  %) представляє складові вітриніту, які в процесі термічної деструкції утворюють значну кількість термостійких рідких продуктів, здатних, взаємодіяти з залишковим матеріалом деструкуючих зерен та інертними складовими органічної маси вугілля, утворюючи кокс різної міцності.

Кількість зазначених складових вітриніту в перерахунку на органічну масу вугілля (в %), назване авторами [30] комплексним показником, що характеризує спікання шихти, розраховується за формулою:

$$C_{Ш} = \frac{\Sigma(0,90 - 1,39)V_t}{100} \quad (2.5),$$

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, %.

Чим вище величина комплексного показника Сш, тим краще повинні бути характеристики міцності одержуваного з цієї шихти коксу.

Крім складових вітриніту, що умовно відповідають вугіллям марок Ж і К, мацерали групи ліптиніту також утворюють при термічній деструкції помітну кількість рідкорухливих продуктів, що беруть активну участь у процесах спікання і коксоутворення, тому їх необхідно враховувати при оцінці потенціалу спікаємості вугілля або шихт. У той же час, мацерали групи інертиніту, які не володіють здатністю спікатися, повинні розглядатися, як піснувата добавка - аналогічно складових вітриніту, що не спікаються, умовно відповідним вугіллям марок П і А.

Складові вітриніту, що відповідають вугіллю марок ДГ, Г і ПС, мають невисоку спікаємість, проте виявляють здатність, на відміну від інертних матеріалів, вступати в хімічну взаємодію з складовими, відповідними вугіллям марок Ж і К. З урахуванням викладеного авторами [30] був розроблений другий комплексний показник, що відображає співвідношення складових органічної маси вугілля і шихт, що добре спікаються, до інертних складових. Цей показник (в умовних одиницях), названий показником коксування, розраховується за такою формулою:

$$K_{ш} = \frac{(\sum(0,90-1,39)V_t/100) + L}{\sum OK + \sum(\geq 1,70)V_t/100} \quad (2.6),$$

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 отошують  $(I+2/3S_v)$ , %;

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

Показник Кш являє собою відношення сумарного вмісту складових вітриніту з показником відображення від 0,9 до 1,39 % (які виявляють високу спікаємість і володіють здатністю приймати присадки, що опіснюють) і мацералів групи ліптиніту до суми опіснюючих мацералів і складових вітриніту 7%, що не спікаються.

Природно, що вище це ставлення, тим більша ймовірність за інших рівних умов (тобто, при близькості середнього довільного показника відбиття вітриніту і виходу летких речовин) отримання коксу з низькою дробимістю і стиранністю.

Таким чином, показники Сш і Кш дозволяють дати узагальнюючу кількісну оцінку петрографічних характеристик вугільних шихт, що включає дані визначення мацерального складу і рефлектограмного аналізу.

Однією з істотних переваг розроблених показників Сш і Кш є можливість розрахунку їх величини для вугільної суміші за даними про вміст і якість компонентів, що входять в цю суміш.

У табл. 2.19 наведено розрахунок за правилом адитивності значень умовного поділу на марки за показником відбиття вітриніту для модельних варіантів шихт. Приклади використання показників Сш і Кш для прогнозу якості коксу і оптимізації вугільних шихт з метою поліпшення характеристик міцності одержуваного металургійного коксу мають високе підтвердження промислових коксувань [31]. За результатами розрахунків петрографічних характеристик шихт були проведені розрахунки комплексних характеристик Сш і Кш для подальших прогнозних розрахунків якості металургійного коксу.

Необхідно зазначити, що вугілля ш. Любельська № 1 і 2 не використовувалося в шихтах для коксування, а за проведеними дослідженнями вугілля ш. Любельська № 1 класифіковано маркою К, а вугілля ш. Любельська № 2 займає проміжне положення між К і Ж у класифікаційних характеристиках. Також для безпечного використання його в шихтах коксохімічних підприємств необхідно провести дослідження тиску розпирання.

Таблиця 2.19

## Петрографічна характеристика модельних вугільних шихт

Варіант	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відображення вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %							
							Менше 0,50	0,50- 0,79	0,80-0,89	0,90- 1,19	1,20- 1,49	1,50- 1,69	1,70- 2,59	
	Марки вугілля, що умовно відповідають стадіям метаморфізму вітриніту							Д	ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	Т
	<i>Vt</i>	<i>Sv</i>	<i>I</i>	<i>L</i>	$\Sigma OK$	<i>R<sub>0</sub></i>								
В.1	77,4	0,6	18,9	3,4	19,5	1,04	1,1	20,0	7,3	43,5	21,9	5,5	0,6	
В.2	78,0	0,7	18,0	3,7	18,6	1,01	1,2	20,8	9,3	44,1	21,7	2,8	0,3	
В.3	77,5	0,6	18,5	3,6	19,1	1,04	1,2	21,0	8,3	39,6	23,8	5,5	0,6	
В.4	78,0	0,7	18,4	3,2	19,0	1,06	1,0	17,6	7,9	43,6	23,8	5,5	0,6	
В.5	78,1	0,7	18,3	3,2	19,0	1,06	1,0	17,5	7,2	43,0	25,3	5,5	0,6	

Примітка. Джерело: розроблено автором

Результати розрахунків спікливості і коксівності шихти представлені в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20

**Показники спікливості і коксівності модельних вугільних шихт**

Варіант шихти	Показник спікливості	Показник коксівності
	Сш	Кш
В.1	50,62	2,71
В.2	51,25	2,92
В.3	49,09	2,69
В.4	52,57	2,86
В.5	53,27	2,91

Примітка. Джерело: розроблено автором

У роботі [31] були проведені результати коксування варіантів шихт, що включають всі типи донецького вугілля, що використовуються для коксування, і два типи кузнецького вугілля, у найбільших кількостях представлених у поставках кузнецького вугілля на Україну. В результаті математичної обробки отриманих результатів встановлено, що використання показників Сш і Кш спільно з параметрами  $V^{daf}$  або  $R_o$  шихти в математичних моделях істотно підвищує точність прогнозу показників  $M_{25}$  і  $M_{10}$  коксу в порівнянні з моделями, в яких використовуються параметри  $V^{daf}$  або  $R_o$  і у.

Зазначені математичні моделі є регресійними рівняннями першого ступеня з наступними статистичними оцінками:

$R$  – коефіцієнт множинної кореляції;

$D = 100 R^2$  - коефіцієнт детермінації;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення розрахункових даних від фактичних.

У табл. 2.21 наведено отримані регресійні рівняння залежності міцності коксу від властивостей шихти.

Таблиця 2.21

**Математичні рівняння опису показників міцності коксу за  
показниками властивостей шихт**

№ рівняння	Вид рівняння	Статистичні оцінки		
		R	D, %	σ, %
2.7	$M_{25}=26,984 \cdot R_0+0,364 \cdot y+53,437$	0,809	65,4	1,11
2.8	$M_{10}= -6,050 \cdot R_0-0,028 \cdot y+13,931$	0,769	59,1	0,27
2.9	$M_{25}=15,7346 \cdot R_0+0,1662C_{\text{Ш}}+63,7045$	0,962	92,5	0,51
2.10	$M_{10}= -4,1104 \cdot R_0- 0,0324 C_{\text{Ш}}+12,905$	0,899	80,8	0,20
2.11	$M_{25}=22,6481 \cdot R_0+1,4171K_{\text{Ш}}+59,2555$	0,941	88,6	0,63
2.12	$M_{10}= -5,424 \cdot R_0- 0,2978K_{\text{Ш}}+13,8092$	0,903	81,5	0,19
2.13	$M_{25}= 14,1107 \cdot R_0+0,2067C_{\text{Ш}}-0,3821 \cdot K_{\text{Ш}}+64,851$	0,963	92,7	0,51
2.14	$M_{10}= - 4,965 \cdot R_0- 0,0111C_{\text{Ш}} - 0,2011 K_{\text{Ш}} + 13,5084$	0,963	92,7	0,15

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [30]

Як очевидно з наведених у табл. 2.21 апроксимуючих рівнянь, використання показників СШ і КШ спільно з  $R_0$  забезпечує детермінацію показника  $M_{25}$  на 88,6-92,5%, а показника  $M_{10}$  - на 80,8-81,5%. При цьому величина стандартного відхилення для зазначених показників міцності суттєво нижча, ніж похибка паралельних вимірювань показників  $M_{25}$  та  $M_{10}$ .

Спільне використання у математичних моделях показників СШ і КШ практично не підвищує точності прогнозу показника  $M_{25}$  та дещо покращує точність прогнозу показника  $M_{10}$ . Це зумовлено особливостями отриманої вибірки, для якої показники СШ і КШ перебувають у тісному взаємозв'язку,

оскільки вміст складових органічної маси, що не спікають, в шихтах ( $\Sigma$  ОК) змінюється у вузьких межах: від 12 до 16 %. У той самий час у шихтах деяких заводів вміст опіснюючих мацералів сягає 35 %, що з досить високому значенні Сш може призвести до помітного погіршення показників міцності коксу і, передусім, його стирання.

Підставляючи у зазначені у табл. 2.21 рівняння значення показника  $R_0$  шихти, що дорівнює 1,0, яке характерне для більшості вугільних шихт коксохімічних заводів України, розраховуємо значення показників Сш і Кш шихти, що забезпечує отримання коксу з характеристиками міцності  $M_{25}$  і  $M_{10}$  рівними 88,0 і 7,0 % відповідно.

Розрахунок показує, що цим значенням показників міцності коксу відповідають такі значення показників шихти: Сш - 51,5-55,4%; Кш - 4,3-4,65. Природно, що особливості режиму підготовки та коксування вугілля, що існують на кожному заводі, можуть вносити певні корективи до рівня абсолютних значень показників  $M_{25}$  та  $M_{10}$ , що розраховуються за величиною значень Сш, Кш та  $R_0$ . У зв'язку з цим необхідно для конкретних заводських умов та фактичних значень показників міцності коксу уточнити коефіцієнти прогнозуючих рівнянь.

У той же час, знаючи величини комплексних петрографічних показників, можна дати обґрунтовану порівняльну оцінку потенціалу спікання та коксування виробничих шихт різних заводів, характеризувати технологічну цінність планованих до постачання шихт, а також оперативно коригувати склади виробничих шихт.

Насамкінець необхідно констатувати, що застосування петрографічних характеристик та розроблених на їх основі комплексних показників в умовах складної міжбасейнової сировинної бази, що використовується на ряді коксохімічних заводів України, дозволяє обґрунтовано оцінювати технологічну цінність вугільних концентратів та виробничих шихт.

Тож для складених модельних вугільних шихт прорахуємо прогнозні значення якості коксу за рівняннями представленими у таблиці 2.21.

Для зручності сприйняття результати отриманих прогнозних значень занесемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22

**Прогнозні значення якості коксу з модельних вугільних шихт**

Варіант шихти	Номер рівняння за яким зроблений розрахунок							
	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14
В.1	88,00	7,12	88,56	6,97	86,76	7,34	89,02	7,21
В.2	87,08	7,34	88,08	7,10	86,20	7,48	88,55	7,35
В.3	87,78	7,14	88,27	7,03	86,70	7,35	88,69	7,24
В.4	88,28	7,05	89,07	6,86	87,24	7,23	89,53	7,10
В.5	88,37	7,03	89,24	6,82	87,39	7,19	89,71	7,07

Примітка. Джерело: розроблено автором

Отже, можемо порівняти отримані результати прогнозних значень якості коксу. З шихти варіант 1 отримали показники механічної міцності коксу в діапазоні від 86,76 % за рівнянням 2.11 до 89,02 % за рівнянням 2.13, при цьому маємо показник стирання в діапазоні від 6,97 % до 7,34 %. Для коксу з шихти варіант 2 прогнозні значення склали від 86,20 % до 88,55 % за показником механічної міцності, та від 7,10 % до 7,48 % за показником стиранності. Значення механічної міцності для коксу з шихти варіант 3 складають 86,70 % – 88,69 %, а стиранності 7,03 % - 7,35 %. Кокс з шихти варіанту 4 може мати  $M_{25}$  від 87,24 % до 89,53 %,  $M_{10}$  від 6,86 % до 7,23 %. Найвищий рівень якості коксу за прогнозними розрахунками можемо отримати з вугільної шихти варіант 5 – механічна міцність складає від 87,39 % до 89,71 %, а стиранність – від 6,82 % до 7,19 %.

Необхідно відзначити, що найнижчі показники прогнозованої механічної міцності коксу були отримані при розрахунках за рівнянням 2.11, які базувалися на використанні середнього довільного значення відбиття вітриніту та

коксівності шихти, а найвищі при розрахунках за рівнянням 2.13, які використовували значення показника відбиття вітриніту спікливості шихти і коксівності.

Найнижчі прогнозні значення стиранності  $M_{10}$  всіх варіантів отримані при використанні рівняння 2.10, яке ґрунтується на  $R_o$  і Сш, а найвищі (найгірші) при використанні 2.12, яке засноване на  $R_o$  і Кш.

Упевнитися у правильності прогнозних значень можна тільки за умови проведення коксування модельних складів вугільних шихт та проведенні відповідних досліджень якості отриманого коксу.

Також важливо розуміти які ми можемо отримати значення реакційної здатності CRI і міцності коксу після реакції з  $CO_2$  CSR. За оцінкою сировинної бази коксування ми мали не сприятливий хімічний склад золи вугільних концентратів газової групи, так як інші концентрати на даний момент менш доступні було прийнято рішення використовувати їх. Візьмемо найпоширеніші формули 2.15 і 2.16, які для прогнозу використовують індекс основності.

$$CRI = 13,4 + 9,35 \cdot I_o - 0,45 \cdot I_o^2 \quad (2.15)$$

де  $I_o$  – індекс основності вугільної шихти розрахований за формулою 2.2

$$CSR = 94,23 - 1,275CRI \quad (2.16)$$

Результати розрахунків прогнозних значень реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу представлені в таблиці 2.23.

Звісно, для прогнозних розрахунків цих показників використовується велика кількість рівнянь, які розроблені для різних підприємств, враховують особливості технологій цих підприємств, а також розроблені на результатах коксування шихт різних басейнів і країн. Рівняння 2.15 і 2.16 враховують тільки

сировинні фактори і розроблені при використанні переважно українського басейну [32].

Таблиця 2.23

**Прогнозні значення реакційної здатності і післяреакційної міцності  
коксу з модельних вугільних шихт**

Варіант шихти	Індекс основності шихти, Ио	Реакційна здатність коксу, CRI, %	Міцність коксу після реакції з CO <sub>2</sub> , CSR, %
В.1	2,57	34,46	50,30
В.2	2,69	35,30	49,23
В.3	2,65	35,02	49,58
В.4	2,55	34,32	50,48
В.5	2,54	34,25	50,57

Примітка. Джерело: розроблено автором

Кваліфіковане застосування схем підготовки вугілля дозволяє підвищити механічну міцність коксу за показником M<sub>25</sub> на 1,0-1,5% і знизити стирання за показником M<sub>10</sub> на 0,3-0,8%. У цьому витрата електроенергії на дроблення скорочується на 25-30 %.

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

Нині українське вугілля марок, що спікаються (Ж, К), добуваються на глибинах 800 м і більше у складних гірничо-геологічних та соціальних умовах. Виходячи з цього, найбільш доцільним слід вважати підтримку наявного діючого шахтного фонду та збереження існуючого обсягу видобутку основних марок коксівного вугілля. Вугільна сировинна база коксування заводів України має багаторічний дефіцитний характер. Особливо це стосується вугілля марок Ж і К

(спіклива основа шихти), а також ПС (дуже цінний високометаморфізований компонент шихти). Вугілля марок Ж і К, що спекаються і за багатьма показниками схоже на вугілля Донецького басейну, може імпортуватися тільки зі США, Канади, Австралії та ін країн далекого зарубіжжя.

Для розуміння загальної картини прогнозованої якості коксу приведемо всі розраховані якісні показники коксу з модельних вугільних шихт до таблиці 2.24, при цьому за показники механічної міцності і стиранності коксу візьмемо середнє значень розрахованих різними рівняннями.

Таблиця 2.24

**Прогнозні значення якості коксу з модельних вугільних шихт**

Варіант шихти	Вміст золи, $A^d$ , %	Вміст загальної сірки, $S^d_t$ , %	Механічна міцність коксу, $M_{25}$ , %	Стиранність коксу, $M_{10}$ , %	Реакційна здатність коксу, CRI, %	Міцність коксу після реакції з $CO_2$ , CSR, %
В.1	9,6	0,78	88,08	7,16	34,46	50,30
В.2	9,6	0,82	87,48	7,32	35,30	49,23
В.3	9,6	0,80	87,86	7,19	35,02	49,58
В.4	9,6	0,77	88,53	7,06	34,32	50,48
В.5	9,7	0,76	88,68	7,03	34,25	50,57

Примітка. Джерело: розроблено автором

З таблиці 2.24 видно, що отримані прогнозні данні якості коксу мають задовільні значення та можуть задовільнити вітчизняних виробників коксу та основних споживачів – домене виробництво.

В таблиці 2.25 викладені вимоги до якості коксу за дійсними нормативними документами України.

Таблиця 2.25

**Вимоги до якості коксу за основними показниками відповідно до діючих нормативних документів**

Показники	ТУ У 322-00190443-114:1996			ТУ У 23.1-00190443-086:2006			ТУ У 19.1-00190443-65:2015	
	КД-1	КД-2	КД-3	КДП-1	КДП-2	КДП-3	КДМ-1	КДМ-2
Зольність $A^d$ (%), не більше	11,0	12,0	13,0	10,7	11,0	11,5	11,4	11,4
Масова частка загальної сірки $S^d_t$ (%), не більше	2,00	1,60	1,30	0,85	1,00	1,20	0,80	1,20
Показник міцності $M_{25}$ (%), не менше	86,0	84,0	82,0	88,0	87,0	86,0	88,5	88,0
Показник стиранності $M_{10}$ (%), не більше	7,5	8,0	9,0	7,2	7,5	7,6	7,2	7,6
Індекс реакційної здатності коксу $CRI$ (%), не більше	-	-	-	29,0	34,0	35,0	34,0	40,0
Міцність коксу після реакції $CSR$ (%), не менше	-	-	-	56,0	48,0	45,0	50,0	43,0

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [33]

Порівнявши вимоги до якості коксу основних виробників України і отримані прогностні значення модельних вугільних шихт видно, що при даних складах вугільних шихт є висока вірогідність отримання коксу класу «Преміум»

у відповідності до ТУ У 23.1-00190443-086:2006 [24], чи поліпшеної якості у відповідності до ТУ У 19.1-00190443-65:2015 [34].

За техніко-економічними даними дослідників [10] використання металургійного коксу з низькою ( $CRI < 30 \%$ ) реакційною здатністю та високою ( $CSR > 60 \%$ ) післяреакційною міцністю дозволяє знизити на 5-7 % його витрату на тону чавуну, а використання такого коксу у поєднанні з технологією вдування ПУТ дозволяє знизити витрата коксу з 500-550 кг/т до 350-450 кг/т чавуну. То ж прагнення виробляти кокс вищої якості і задовольняти потреби споживача природня ринкова обставина.

## ВИСНОВКИ

Проаналізувавши високі вимоги до якості коксу, такі як вміст сірки, зольність механічні показники, реакційна здатність і післяреакційна міцність, можна з впевненістю сказати, що розширення сировинної бази коксування підприємств України повинно відбуватися тільки за рахунок високоякісної сировини з високим рівнем спікливості та задовільними характеристиками хімічного складу золи.

Одним з перспективних компонентів сировинної бази коксування може стати вугілля ш. Любельська. Наявна інформація щодо покладів цього вугілля, показники якості та технологічні властивості характеризують це вугілля як середньої стадії метаморфізму з високою товщиною пластичного шару та сприятливими показниками збагачуваності.

Впровадження сучасних технологій видобутку і збагачення цього вугілля забезпечить коксохімічні виробництва стабільною якістю товарної продукції.

Розроблені модельні склади вугільних шихт за участі вугільних концентратів, які поступають на коксохімічні підприємства на постійній основі, показують високу якість вугільних шихт і дозволяють прогнозувати високі показники якості коксу за всіма основними характеристиками. Зольність коксу не перевищує 10 %, вміст сірки не досягає 0,85 %, механічна міцність  $M_{25}$  знаходиться в діапазоні від 87,48 % до 88,68 %, стиранисть коксу  $M_{10}$  – від 7,32 % до 7,03 %, реакційна здатність CRI складає від 34,25 % до 35,02 %, післяреакційна міцність коксу CSR – від 49,23 % до 50,57 %, що робить вугілля ш. Любельська бажаним компонентом шихт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абросимов Н. И. Состояние и перспективы металлургической отрасли Украины. Пылеугольное топливо - альтернатива природному газу при выплавке чугуна: *Труды международной научно-технической конференции*. Донецк: УНИТЕХ, 2006. С. 21-24.
2. Большаков В. И., Тубольцев Л. Г. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2006. № 2. С. 1-5.
3. Гусак В. Г., Дроздник И.Д О марочной структуре и технологических свойствах углей, импортируемых в Украину для коксования. *Углекимический журнал* 2011. № 1-2. С. 3-11.
4. Дроздник И.Д, Шульга И.В. О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей. *Збагачення корисних копалин*: Наук. техн. зб. Дніпропетровськ: НГУ. 2009. Вип. 36 (77) - 37 (78). С. 56-59.
6. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. Харків : ДП «Гипрококс». 2018. 283 с.
7. ДСТУ ГОСТ 17070:2019 Вугілля. Терміни та визначення (ГОСТ 17070-2014, IDT) [чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 18 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 7722:2015 Вугілля кам'яне. Метод визначення пластометричних показників. [На заміну ГОСТ 1186-87; чинний від 2016-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 15 с. (Інформація та документація).
9. Доменное производство: Справочное издание. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс. М.: Металлургия, 1989. 372 с.
10. Рыщенко А. И., Шульга И.В. Факторы, влияющие на формирование свойств доменного кокса. *Углекимический журнал*. 2009. № 3-4. С. 56-64.
11. Ковалев Е. Т., Дроздник И. Д., Мирошниченко Д.В., Десна Н.А. Основные направления исследований института в области разработки угольной

сырьевой базы для коксохимических предприятий Украины. *ВуглеХімічний журнал*. 2020. №3. С. 8 – 17.

12. Марочный состав углей и их рациональное использование: Справ. изд./ И.В. Еремин, Т.М. Броновец. М.: Недра, 1994. 254 с.

13. ДСТУ 3472:2015 Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація. [На заміну ДСТУ 3472-96; чинний від 2016-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 8 с. (Інформація та документація)

14. ГОСТ 25543 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам». [не діючий від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство вугільної промисловості УРСР, 1988. 21 с. (Інформація та документація)

15. ГОСТ 30313-95 Угли каменные и антрациты (Угли среднего и высокого рангов) Кодификация. [чинний від 1998-07-01]. Вид. офіц. : ДП «УкрНДНЦ», Мінск. 1995. 15 с. (Інформація та документація)

16. ISO 10329:2017 Coal – Determination of plastic properties – Constant-torque Gieseler plastometer method. [чинний від 2017] Вид. офіц. : «ISO: Global standards for trusted goods and services» 13р. (Інформація та документація)

17. ГОСТ 13324-94 (ИСО 349-75) Угли каменные. Метод определения дилатометрических показателей в приборе Одибера-Арну. [чинний від 1997-07-01]. Вид. офіц. : ДП «УкрНДНЦ», Мінск. 1996. 21 с. (Інформація та документація)

18. ДСТУ 7599:2014 Вугілля кам'яне. Метод визначення індексу вільного спучування (ISO 501:2012, MOD) [На заміну ГОСТ 20330-91 (ИСО 501-81); чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 16 с. (Інформація та документація)

19. Макаров Г.Н., Харлампович Г.Д. Химическая технология твердых горючих ископаемых: Учебник для вузов. М.: Химия, 1986. 496 с.

20. Саранчук В.И., Ошовский В.В., Власов Г.А. Хімія і фізика горючих копалин. Донецк: Східний видавничий дім, 2003. 204 с.

21. Дроздник И.Д., Дюканов А.Г., Бессчастный Ю.В., Рубчевский В.Н., Чернышов Ю.А. Некоторые аспекты подготовки углей для коксования. *УглеХимический журнал*. 2007. №3–4. С. 13–20.
22. David E. Pearson A review of coal quality and its effect on coke reactivity and after reaction strength of cokes. *Journal of Coal Quality*. 2005. V.4. P. 35–43.
23. Гайниева Г.Р., Наймарк М.М., Завалишин Д.А. Марочный состав угольной шихты. Его влияние на реакционную способность доменного кокса *Кокс и химия*. 2005. №11. С. 10–13.
24. ТУ У 23.1 – 00190443 – 086:2006 Кокс доменный марки «Премиум». Технические условия. Технічні умови. Харків: ДП «УХІН», 2006. 28 с. (Інформація та документація).
25. Зайнутдинов В.Н., Буланов Е.А., Кузнецов В.Я. Зависимость горячей прочности кокса от компонентного и марочного состава угольной шихты. *Кокс и химия*. 2005. №4. С. 15–17.
26. Tobias Hilding Evolution of coke properties while descending through a blast furnace.–Sweden: Lulea University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Process Metallurgy, 2005.–162 P.
27. Сайт ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля» / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.lubelcoal.com>
28. Гумен Я.М., Алексейчик У.Й., Дроздник І.Д., Кафтан Ю.С., Бідоленко Н.Б. Вугілля Любелського родовища ділянок 1-2 Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну – високоякісна сировина для виробництва металургійного коксу. *ВуглеХімічний журнал*. 2017. №2. С. 3 – 10.
29. Маценко Г.П. Микрокристаллические включения пирита как петрографический показатель типов по восстановленности донецких углей. *Химия твердого топлива*. 1983. № 1. С. 13-19.
30. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Бидоленко Н.Б., Головки М. Б. Развитие научных основ составления угольных шихт из углей разных бассейнов. *УглеХимический журнал*. 2010. №3–4. С. 25–31.

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

32. Мірошніченко Д.В. Оптимізація реакційної здатності як інтегрального показника якості коксу: Автореф. дис. ... канд.. техн.. наук 05.17.07 Харків: УХІН, 2006. – 20 с.

33. Шульга І.В., Мірошніченко Д.В., Богоявленська О.В. Основи технології коксування вугілля: посібник [Електронний ресурс] Харків-Тернопіль: НТУ «ХП», Видавництво «Крок», 2022. 128 с.

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

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Суислової Карини Сергіївни

(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 Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в шихтах коксохімічних 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

Здобувачки Суслової Карини Сергіївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22-м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в  
шихтах коксохімічних підприємств

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>70;</u>
таблиць	<u>29;</u>
схем і рисунків	<u>1;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** магістра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню розширенню сировинної бази  
коксування за рахунок залучення вугілля нових шахт, саме вугілля шахти  
«Любельська».

В кваліфікаційній роботі на основі досліджених літературних джерел та  
аналізу даних характеристик залягання вугілля, його можливості видобутку та  
збагачення, аналізу технологій, що плануються для залучення. Докладно викладені  
лабораторні випробування основних якісних показників вугілля пластів шахти  
«Любельська», їх марочній належності та технологічним характеристикам для  
коксування.

Проведений аналіз сировинної бази коксування коксохімічних  
підприємств України. Розроблені варіанти вугільних шихт за участю різних  
пластів вугілля шахти «Любельська», та проведений прогноз якісних  
характеристик коксу за різними методиками для більш об'єктивної оцінки.

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

В роботі не зазначено характеристику товарної продукції та не розкриті подробиці запланованих технологій для збагачення вугілля шахти «Любельська». Не проведена техніко-економічна оцінка ефективності використання цього вугілля.

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

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

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

**Можливість використання кваліфікаційної роботи магістра**

Розроблені склади вугільних шихт для коксування за участю вугілля шахти «Любельська» дозволять досягти покращення показників механічної міцності коксу (за показниками  $M_{25}$  та  $M_{10}$ ) та можуть бути використані в умовах вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

**Оцінка кваліфікаційної роботи магістра** добре, 85, 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, Сулова Карина Сергіївна, 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



---

К. Сулова

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

Текст (вибрати необхідне):

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

*Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в шихтах  
коксухімічних підприємств*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

*Суслова Карина Сергіївна*

(ПІБ)

*кафедра Хімічних технологій та інженерії*

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 70 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 37,95 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

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

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

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «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)

Здобувачки Суслової Карини Сергіївни  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b> _____ магістра (бакалавра, магістра)
Оцінка перспективності використання вугілля шахти «Любельська» в шихтах коксохімічних підприємств
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b> _____ магістра (бакалавра, магістра)
Оптимізація складів вугільних шихт з використання вугілля шахти «Любельська» в сировинній базі підприємства
Переваги кваліфікаційної роботи _____ магістра (бакалавра, магістра)
Проаналізовано основні технологічні характеристики вугілля у порівнянні з вугіллям любельського басейну, яке активно видобувається і збагачується, розкриті основні якісні показники вугілля різних пластів в дільницях ш. Любельська. Розроблені варіанти складів вугільних шихт з прогнозуванням якості коксу за різними показниками та використовуючи різні методи
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b> _____ магістра (бакалавра, магістра)
В роботі не розкриті питання тиску розпирання вугілля ш. Любельська та не використовується цей показник в рекомендаціях для характеристик вугільних шихт.
<b>Рекомендації:</b> робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент: <u>Жоринь Марина Віталіївна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Жоринь  
(підпис)