

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 БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Гончаренко Кристини Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої
взаємодії з водою

(повна назва теми)

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

(повна назва бази дослідження)

Науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Десна Н.А.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06. 2025 р. № 16

Завідувач кафедри



(підпис)

Наук. ступінь, вчене звання Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

Шмельцер К.О. доцент, к.т.н.
(підпис) Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)
« d » червне 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гончаренко Кристини Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою

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

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

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

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


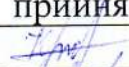


4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Аналітична частина: фізико-хімічні основи процесу коксоутворення, характеристики сировинної бази коксування підприємства, принципи класифікації вугілля в залежності від напрямків його використання, характеристика показників вугілля, які використовуються в вуглехімії і технології, основні технологічні причини тривалого контакту вугілля з водою, основні технологічні зміни якісних характеристик вугілля яке тривалий час контактувало з водою.

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічних характеристик гідравлічного транспортування вугілля. Методи запобігання втрати якості вугілля при застосуванні гідравлічного транспортування.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

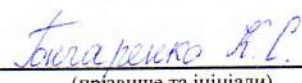
7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.25	
2.	Основна частина	26.05.25	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

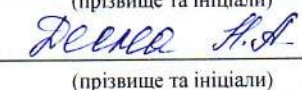
Здобувач


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гончаренко К.С. Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою. – Рукопис.

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

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості взаємодії вугілля з водою на різних етапах його обробки в процесі підготовки до коксування. Акцент зроблено на вплив тривалого водного контакту на фізико-хімічні характеристики сировини та можливі шляхи мінімізації негативних наслідків такого впливу. Аналіз проведено на прикладі вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1», для якого характерна підвищена вологість, нестабільна структура і специфічний елементний склад.

Розглянуто перспективність використання гідравлічного транспорту за умови вдосконалення технологій попередньої обробки. Запропоновано поєднання таких рішень, як селективна масляна агрегація, формування захисних вуглемасляних оболонок та попередня дегідратація пульпи. Показано, що впровадження цих методів дозволяє знизити теплові й матеріальні втрати, зберегти фракційний склад та покращити коксівні властивості вугілля.

Отримані результати мають прикладне значення для модернізації систем підготовки сировини до коксування на збагачувальних фабриках і можуть бути використані для зменшення впливу шкідливих факторів на працівників та довкілля.

Ключові слова: вугілля, гідравлічне транспортування, дегідратація, вуглемасляна оболонка, селективна агрегація, водний вплив, коксування.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Огляд фізико-хімічних показників вугілля, що визначають його цінність у технологічному застосуванні	9
1.2 Розподіл вугільної продукції відповідно до напрямів використання	11
1.3 Фізико-хімічні основи процесу коксоутворення	15
1.4 Вимоги до якості доменного коксу	18
1.4.1 Основні показники якості доменного коксу	18
1.4.2 Вплив параметрів коксу на ефективність доменного процесу	21
1.5 Взаємодія вугілля з водним та органічним середовищем у технологічному процесі	23
1.5.1 Причини тривалого контакту вугілля з водою у виробничих умовах	23
1.5.2 Селективна масляна агрегація вугілля та її продукти	31
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	41
2.1 Технологічні особливості гідравлічного транспортування вугілля	41
2.2 Критерії вибору способів транспортування з урахуванням водного впливу	47
2.3 Обґрунтування технологічних характеристик системи транспортування	50
2.4 Методи зменшення негативного впливу води на вугілля	55
2.5 Технологічні рішення для підтримання якості вугілля під час гідротранспортування	68
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

ВСТУП

Актуальність обраної теми обумовлена високою вимогою до вдосконалення ефективності та якості технологічних процесів у вугільній промисловості, особливо в контексті коксування. Процес коксування вугілля є вирішальним етапом у виробництві металургійного коксу, який є основним матеріалом для виготовлення сталі. Одним з основних аспектів цього процесу є взаємодія його з водою на різних етапах його обробки та транспортування. Тривале перебування сировини у водному середовищі може викликати зміни в його фізико-хімічних властивостях, що впливає на якість кінцевої продукції та ефективність технологічних процесів.

У сучасних умовах промислового виробництва важливо не тільки забезпечувати високу якість коксівного вугілля, але й зберігати безпеку праці та захищати навколишнє середовище. Технологічні процеси транспортування та зберігання, включаючи гідравлічне транспортування, мають свої ризики для здоров'я працівників та екосистеми. Тому дослідження впливу води на властивості вихідної речовини та розробка ефективних методів збереження його якості під час транспортування і зберігання є важливим напрямком для удосконалення промислових технологій.

Метою цієї дипломної роботи є дослідження змін властивостей вугілля в результаті тривалого контакту з водою, а також аналіз технологічних аспектів, пов'язаних з транспортуванням. Окрему увагу буде приділено оцінці ризиків для здоров'я працівників та навколишнього середовища в умовах роботи на збагачувальних фабриках і в цехах підготовки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Вивчити фізико-хімічні основи процесу коксоутворення та визначити властивості сировини, що впливають на його технологічне застосування.
- Дослідити технологічні процеси збагачення і транспортування, зокрема гідравлічне транспортування, та їх вплив на якість.

- Оцінити екологічні ризики та потенційні небезпечні фактори, що виникають на збагачувальних фабриках і в цехах підготовки вугілля.

- Розробити рекомендації щодо поліпшення умов охорони праці та забезпечення екологічної безпеки під час підготовки вугілля до коксування.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси збагачення та транспортування вугілля на підприємствах вугільної промисловості. Предметом дослідження є зміни фізико-хімічних властивостей вугілля в умовах тривалого контакту з водою, а також технології, що дозволяють зберігати якість та мінімізувати екологічні ризики. Практичне значення дослідження полягає у розробці ефективних рекомендацій для оптимізації технологій збагачення та транспортування вугілля, покращення умов праці й зниження негативного впливу на довкілля.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд фізико-хімічних показників вугілля, що визначають його цінність у технологічному застосуванні

Вугілля є важливим матеріалом, який використовується як паливо і для різних технологічних процесів. Його ефективність залежить від низки фізико-хімічних властивостей, які визначають доцільність його застосування в різних виробництвах. Основними характеристиками, що впливають на якість вугілля, є: вологість, зольність, вихід летких компонентів, питома теплота згорання, спікливість, механічна міцність і реакційна здатність. Всі ці показники варіюються в залежності від складу вугілля та напрямку його використання — від металургії до енергетики та хімічної промисловості.

Вугілля містить кілька видів води: гігроскопічну, поверхневу та структурну. Перевищення вологості в матеріалі знижує його теплотворні властивості, ускладнює процеси транспортування і зберігання, а також погіршує технологічні якості шихти, особливо під час коксових процесів. Однак в деяких випадках підвищена вологість може бути корисною для певних хімічних і газифікаційних процесів, де вона є важливим фактором для належної реакційної активності.

Зольність визначається вмістом неорганічних домішок, таких як сполуки алюмінію, кремнію, заліза, кальцію і магнію. Високий рівень зольності вугілля знижує його енергетичну цінність і збільшує утворення шлаку під час спалювання, що може призвести до зниження ефективності роботи енергетичних установок і погіршення якості коксу.

Вугілля, що містить велику кількість летких компонентів, є цінним для хімічної переробки і коксування. Леткі речовини вивільняються при нагріванні без доступу повітря і залежать від ступеня метаморфізму вугілля. Високий вміст летких компонентів важливий для ефективної газифікації та

виготовлення хімічних продуктів, що підвищує його технологічну привабливість.

Теплотворні властивості вугілля є основним критерієм його енергетичної цінності. Вони залежать від співвідношення органічної маси до мінеральних домішок і вологості. Висока теплота згоряння є обов'язковою вимогою для вугілля, яке використовується у виробництві енергії або металургійних процесах, таких як доменне виробництво.

Спикливість вугілля — це здатність матеріалу при нагріванні змінювати свою структуру та переходити в пластичний стан без доступу кисню. Цей процес важливий для виробництва коксу, оскільки вугілля з високою спикливістю забезпечує утворення міцного коксу, що є критичним для успішного виконання технологічних процесів.

Для стабільної роботи технологічних процесів вугілля повинно володіти достатньою механічною міцністю, щоб уникнути утворення пилу під час транспортування та коксових операцій. Цей параметр є важливим для забезпечення стабільності гранулометричного складу та форми вугільних часток під час технологічних процедур.

Для досягнення високої ефективності використання вугілля у різноманітних технологічних процесах необхідно ретельно враховувати його фізико-хімічні характеристики. Вибір відповідного типу вугілля безпосередньо залежить від специфічних вимог кожного виробничого процесу. Для таких напрямків, як енергетика, металургія та хімічне виробництво, особливо важливо, щоб вугілля відповідало визначеним стандартам, що забезпечують його оптимальне використання. [1, 2].

Таблиця 1.1

Рекомендації по вибору вугілля для різних технологічних процесів

№ п/п	Технологічний процес	Рекомендовані фізико-хімічні властивості
1	2	3
1	Енергетика	Низька вологість та зольність, висока питома теплота згоряння, стабільна механічна міцність
2	Металургія (коксування)	Висока спікливість, помірنا вологість і зольність, вміст летких речовин для отримання якісного коксу
3	Хімічна переробка	Високий вихід летких речовин, оптимальна вологість, низька зольність для ефективної газифікації
4	Газифікація	Високий вихід летких компонентів, помірна вологість, низька зольність для максимального виділення газів

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1, 2]

1.2 Розподіл вугільної продукції відповідно до напрямів використання

Використання вугільної продукції у металургійній промисловості

Кам'яне та буре вугілля є не лише паливною, але й стратегічно важливою сировиною для промисловості. Окрім енергетичної функції, приблизно чверть видобутого вугілля використовується для технологічних потреб – передусім у металургії та хімічній галузі. Основним напрямом є виробництво коксу, необхідного для виплавки чавуну. Решта обсягів – це енергетичне вугілля, яке застосовують на ТЕС, у комунальному секторі та інших промислових галузях.

Технологічна переробка вугілля. Унікальні фізико-хімічні властивості вкопного вугілля дозволяють застосовувати його в багатьох переробних процесах. Зокрема, буре вугілля піддають низькотемпературній хімічній обробці, що дає змогу отримувати цінні продукти, як-от бітуми, масла, воски та гумінові кислоти. Ці речовини використовують у точному литві,

пластмасовому виробництві, текстильній промисловості, а також у сільському господарстві.

При температурах 350–500 °С органічна речовина вугілля може бути піддана термічному розчиненню або гідруванню з подальшим отриманням рідкого палива. Метод гідрування дозволяє збільшити вихід бензинової фракції до 55% маси органічної частини вугілля. Такі технології активно застосовувалися в країнах з обмеженим доступом до нафтопродуктів.

Напівкоксування та коксування. Процес піролізу (термічного розкладання) при температурах до 600 °С дозволяє видобувати леткі фракції вугілля, а рідкі продукти цього процесу – суміші масел і смоли – слугують сировиною для хімічної промисловості. Утворений газ використовується для обігріву пічних установок, а твердий залишок — як бездимне паливо з високим вмістом вуглецю.

Якщо напівкоксування проводиться у середовищі водяної пари, утворюється пористий матеріал – активоване вугілля, що має значні адсорбційні властивості. Його застосовують у фільтрувальних системах, хімічних реакціях і навіть у медицині.

Коксування при температурах вище 900 °С дозволяє отримати металургійний кокс – основний відновник у доменному виробництві чавуну. Супутні продукти, як-от сирий бензол, смоли та газ, є важливою сировиною для органічного синтезу.

Використання у виробництві матеріалів. Вугілля застосовується й у виробництві цементу – зокрема, як паливо для випалу клінкеру. У виробництві вапна вугільне паливо використовують у шахтних та кільцевих печах.

Також вугілля є компонентом у виробництві вуглелужних реагентів, які необхідні під час буріння свердловин. А у виробництві глинозему – як паливо при спіканні сировини.

Спеціальні напрямки використання. Антрацит і кокс також застосовують для агломерації руд – процесу спікання дрібнозернистих фракцій із вуглецевмісними компонентами. У ливарному виробництві

важливу роль відіграє термоантрацит, який отримують шляхом спеціальної термічної обробки антрациту. Він, а також натуральний антрацит, використовується завдяки своїй високій механічній міцності, низькому вмісту золи та стійкості до температурних навантажень.

У металургії також застосовують вугілля для отримання карбіду кальцію (з антрацитом і вапном), карбіду кремнію та електрокорунду – матеріалів для абразивної обробки, вогнетривких конструкцій і електрозварювання.

Металургійна галузь є одним із провідних споживачів вугільної продукції, зокрема коксового вугілля, яке є незамінною сировиною у виробництві металургійного коксу. Вугілля відіграє ключову роль у процесах доменного виробництва, феросплавної та електрометалургії, а також у суміжних технологічних операціях, пов'язаних із відновленням металів.

Основні напрями використання вугілля в металургії:

а) Коксування — основний процес перетворення коксівного вугілля у доменний кокс, що використовується як:

- відновник оксидів заліза в доменній печі;
- джерело тепла для плавлення шихти;
- структурний матеріал, що забезпечує газопроникність шару

б) пиловугільне вдування (PCI) — сучасна технологія, що передбачає вдування тонкоподрібненого вугілля у зону горіння доменної печі для зменшення витрат дорогого коксу. Для цього використовують енергетичне вугілля з низьким вмістом золи та сірки;

в) використання антрациту — антрацит застосовується у виробництві феросплавів, при рафінуванні сталі, а також у вигляді карбюраторів для насичення металу вуглецем;

г) графітовані вугільні електроди — при електрометалургійних процесах, особливо у дугових печах, використовуються продукти глибокої переробки вугілля — графіт, технічний вуглець та електродні маси

Таблиця 1.2

Основні види вугільної продукції, що використовуються в металургії

№ п/п	Вид вугільної продукції	Область застосування	Основні вимоги
1	2	3	4
1	Коксівне вугілля	Виробництво коксу	Висока спіклівість, низький вміст сірки
2	Металургійний кокс	Доменне виробництво	Висока механічна міцність, низька зольність
3	Енергетичне вугілля (РСІ)	Вдування у доменну піч	Теплотворність >25 МДж/кг, зольність <12%
4	Антрацит	Феросплавне виробництво, карбюризація	Вміст С >90%, леткі речовини <8%
5	Вуглецеві матеріали (електродний кокс, графіт)	Електросталеплавильні печі	Висока електропровідність, чистота структури

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [3]

Кокс як ключовий елемент металургії

Кокс — це високопористий продукт термічного розкладу коксівного вугілля без доступу повітря. Його якість визначається за рядом характеристик:

а) CSR (Coke Strength after Reaction) — показник міцності після реакції з CO₂;

б) CRI (Coke Reactivity Index) — реакційна здатність коксу;

в) Зольність та сірчаність — повинні бути мінімальними для уникнення шкідливих домішок у металі;

Високоякісний кокс забезпечує стабільність доменного процесу, знижує витрати флюсів та покращує відновлення заліза. [4]

1.3 Фізико-хімічні основи процесу коксоутворення

Процес коксоутворення відіграє важливу роль у промисловості, зокрема в нафтопереробці, металургії та виробництві електродних матеріалів. Кокс — це твердий вуглецевий продукт, який утворюється внаслідок термічного розкладання органічних речовин, переважно вуглеводнів. Розуміння фізико-хімічних основ цього процесу є ключовим для ефективного управління технологічними процесами та запобігання небажаним відкладенням коксу в апаратах. Коксоутворення — це складний фізико-хімічний процес, під час якого вуглеводнева сировина піддається термічному впливу, що призводить до утворення твердих вуглецевих залишків. Залежно від умов, кокс може бути як бажаним кінцевим продуктом (наприклад, у виробництві металургійного коксу), так і побічним явищем, яке негативно впливає на обладнання нафтопереробних підприємств. У широкому сенсі під коксоутворенням розуміють утворення твердої вуглецевої речовини — коксу — внаслідок глибокого перетворення органічних компонентів під впливом високих температур, іноді за участю каталізаторів. Процес може бути як керованим (наприклад, під час камерного коксоування), так і некерованим — у вигляді небажаних відкладень у реакторах і трубах.

Основою процесу є термічна деструкція великих молекул вуглеводнів, які при високій температурі (зазвичай вище 450–500 °C) розпадаються на менші фрагменти, деякі з яких, у свою чергу, вступають у реакції полімеризації та поліконденсації. Ці реакції сприяють утворенню високомолекулярних поліциклічних ароматичних сполук, що з часом втрачають леткі компоненти, утворюючи тверду вуглецеву масу.

На молекулярному рівні коксоутворення починається з термічного розкладу (крекінгу) великих вуглеводневих молекул при температурах вище 450–500 °C. Під дією тепла хімічні зв'язки C–C та C–H розриваються, утворюючи низькомолекулярні вільні радикали.

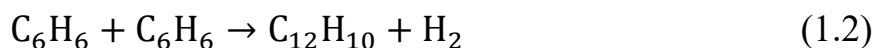
Крекінг вуглеводнів - розрив довгих ланцюгів алканів:



Надалі ці радикали можуть вступати у вторинні реакції, такі як:

а) полімеризація — утворення довгих ланцюгових або сітчастих молекул з низькомолекулярних фрагментів;

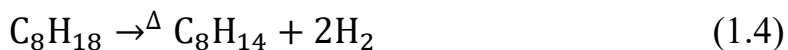
б) поліконденсація — реакції, в яких утворюються більш складні молекули з виділенням побічних продуктів (наприклад, води або водню), поліконденсація ароматичних кілець:



1) Ароматизація — перетворення аліфатичних структур у бензольні кільця, що є основою для побудови поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), ароматизація аліфатичних сполук:



2) дегідрування — видалення атомів водню, що сприяє утворенню ароматичних і конденсованих структур, дегідрування (втрата водню, утворення ненасичених сполук):



Поступово у середовищі знижується концентрація легких фракцій, а структура речовини ускладнюється — утворюються високомолекулярні поліароматичні комплекси, які втрачають здатність до подальшого розчинення й переходять у тверду фазу. Це і є початкова стадія формування коксу.

Важливими фізико-хімічними характеристиками процесу є:

а) тепловий ефект — більшість реакцій є ендотермічними на початкових етапах (термічний крекінг), однак процес ароматизації та полімеризації — екзотермічний. У ході коксоутворення відбувається поєднання ендотермічних та екзотермічних реакцій: ендотермічні стадії — це первинні реакції крекінгу, при яких відбувається розрив зв'язків у вуглеводневих молекулах, а екзотермічні стадії — включають полімеризацію, ароматизацію та поліконденсацію. Загальний баланс енергії визначає температуру зони реакції, необхідність підводу тепла або регулювання теплового режиму;

б) фазові переходи — в ході коксоутворення відбувається поступовий перехід речовини з рідкої у тверду фазу. У процесі сировина проходить через кілька фазових станів: рідка фаза: початковий стан важких вуглеводнів або залишків; в'язка проміжна фаза (мезофаза): утворюється внаслідок полімеризації й початкової конденсації. Вона має високу густину, блискучу структуру й утворює передкокс; тверда фаза (кокс): аморфна або кристалізована вуглецева маса, що залишається після видалення летких компонентів. Перехід у тверду фазу супроводжується зменшенням об'єму (усадкою) та утворенням пористості;

в) підвищення в'язкості — сировина стає все менш текучою через утворення важких молекул. Однією з перших ознак початку коксоутворення є різке зростання в'язкості сировини. Це пов'язано з: утворенням високомолекулярних структур; зменшенням вмісту легких фракцій; зростанням міжмолекулярних зв'язків. Висока в'язкість ускладнює тепло- та масообмін і є передумовою для випадіння твердого залишку;

г) виділення летких побічних продуктів. Під час коксоутворення відбувається дегідрування та декарбонізація молекул, унаслідок чого виділяються: газоподібні продукти: H_2 , CH_4 , CO , CO_2 ; леткі органічні сполуки: бензол, толуол, ксилол (переважно на початкових стадіях); ароматичні олії — як побічний або цільовий продукт. Ці продукти часто уловлюються або спалюються — залежно від типу технологічного процесу

Процес формування коксу залежить від низки чинників:

а) температура: головний фактор, що активує хімічні реакції. При температурі понад 500 °С процес стає інтенсивним, а при 600–700 °С — практично незворотнім;

б) склад сировини: найбільш схильні до коксоутворення важкі залишкові фракції, асфальтени, смоли, ПАВ- висока схильність до коксоутворення. Легкі парафіни або нафтени менш схильні до утворення твердого залишку;

г) тиск: при підвищеному тиску зростає ймовірність утворення важчих молекул та утворення коксу;

д) час перебування в реакційній зоні: що довше органічні молекули піддаються термічній дії - тим більше шансів для реакцій утворення коксу [2];

е) наявність каталізаторів або домішок: метали (ванадій, нікель, залізо) часто прискорюють дегідрування і, відповідно, коксоутворення [5]

1.4 Вимоги до якості доменного коксу

1.4.1 Основні показники якості доменного коксу

На сучасному етапі розвитку металургійної галузі доменне виробництво залишається основним напрямом споживання коксу, на яке припадає найбільша його частка у загальному обсязі виробництва. Інтенсифікація доменного процесу, що досягається шляхом вдосконалення підготовки шихти, підвищення температури дуття та застосування інших технологічних рішень, сприяє зниженню питомих витрат коксу на одиницю виплавленого чавуну. У зв'язку з цим висуваються підвищені вимоги до якості коксу, що використовується у доменному виробництві.

Фізико-хімічні властивості коксу значною мірою визначаються як характеристиками використовуваного вугільного концентрату, так і параметрами технологічного процесу його коксування. До найважливіших характеристик коксу належать крупність, механічна міцність, зольність,

вологість, вміст летких речовин, сірки, а також реакційна здатність до вуглекислого газу (CRI) і стійкість до реакцій після відновлення (CSR).

Крупність та механічна міцність коксу є результатом сукупної дії генетичних і технологічних чинників його виготовлення – складу та властивостей вугільної сировини, умов її підготовки, параметрів коксування, технології гасіння та сортування готової продукції. Ці характеристики визначають ефективність роботи не лише доменних печей, а й суміжних агрегатів, тому вважаються ключовими показниками якості коксу.

Із вдосконаленням підготовки залізородної сировини, зокрема, переходом на більш міцні та менш крихкі форми агломерату і окатишів (з фракцією відповідно 10–30 мм і 10–15 мм), виникла потреба у зменшенні крихкості коксу та забезпеченні рівномірного гранулометричного складу. Це дозволяє досягти стабільного газорозподілу в доменній шахті та знижує питомі витрати коксу при виплавці чавуну.

Хоча кокс продовжує виконувати функції джерела тепла, відновника та розпушувача шихти, його споживання в умовах сучасної доменної плавки більше залежить від забезпечення ефективної газопроникності стовпа шихти, що, у свою чергу, тісно пов'язано з розміром шматків коксу. Найбільш ефективною є фракція розміром 40–60 мм, хоча також виправданим залишається використання крупнішого коксу (60–80 мм) та роздільне сортування коксу на класи 25–40 мм і 40–80 мм з відповідним керуванням їх подачею в піч.

Механічна міцність коксу визначається його здатністю зберігати гранулометричний склад під дією динамічних і статичних навантажень. Для оцінки цієї характеристики використовуються стандартизовані показники міцності у холодному стані (наприклад, M40, M10) і після взаємодії з CO₂ при високих температурах (CSR). Достатній рівень механічної стійкості запобігає надмірному утворенню дріб'язку, який негативно впливає на газодинамічні умови доменного процесу.

Щодо хімічної активності коксу, то її роль неоднозначна залежно від висоти доменної печі. Згідно з досвідом експлуатації печей великого об'єму, зменшення реакційної здатності коксу є бажаним, адже це сприяє зменшенню витрат коксу без погіршення інтенсивності плавки. У той же час, чим краще підготовлені рудні матеріали, тим менш значним є вплив реакційної здатності коксу на технологічні показники плавки.

Таким чином, параметри якості доменного коксу повинні підбиратися з урахуванням конкретних умов доменного виробництва, а також закладатися ще на етапі проектування технологічного процесу коксування. Однією з головних умов ефективної роботи сучасних доменних агрегатів є стабільність фізико-хімічних властивостей коксу у часі, що забезпечує передбачувану поведінку шихти під час плавки і дозволяє підтримувати задані режими процесу.

Доменний кокс є основною шихтовою складовою у доменному процесі, що виконує три ключові функції: енергетичну (забезпечення процесу теплом при згорянні), відновлювальну (участь у відновленні оксидів заліза) та шихтову (механічна підтримка стовпа шихти в доменній печі).

Якість коксу визначається комплексом фізико-хімічних показників, що безпосередньо впливають на ефективність доменного процесу. До основних параметрів належать:

- а) механічна міцність (визначається показниками M40 та M10);
- б) пористість і щільність;
- в) зольність та вологість;
- г) вміст сірки та летких речовин;
- д) реакційна здатність коксу до CO_2 (CRI) та його стійкість до реакцій (CSR) [6]

Таблиця 1.3

Вимоги до основних показників якості доменного коксу

№ п/п	Показник	Оптимальне значення	Вплив на доменний процес
1	2	3	4
1	Міцність (M40), %	≥ 75	Забезпечує стійкість при транспортуванні шихти
2	Абразивність (M10), %	≤ 7	Менша кількість дрібних фракцій
3	Зольність, %	≤ 12	Менше золи – менше шлакоутворення
4	Вміст сірки, %	$\leq 0,6$	Знижує потребу в десульфурації чавуну
5	Пористість, %	40–50	Оптимальна проникність газів
6	Реакційна здатність (CRI), %	20–30	Контроль взаємодії з CO ₂
7	Стійкість після реакції (CSR), %	≥ 60	Підтримка структури коксу у зоні відновлення

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [6,7]

1.4.2 Вплив параметрів коксу на ефективність доменного процесу

Якісний кокс забезпечує стабільну роботу доменної печі, рівномірну подачу газу, зниження втрат тепла, а також економію коксової шихти. На рис. 1.1 наведено графік залежності продуктивності доменної печі від показника CSR коксу.

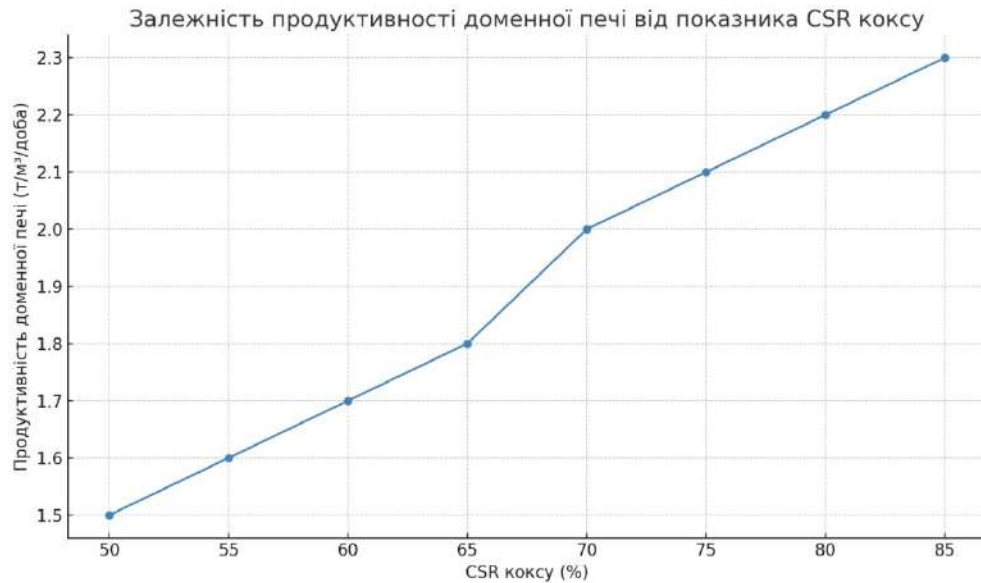


Рис. 1.1 Вплив стійкості коксу (CSR) на продуктивність доменної печі

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Як видно з графіка, підвищення CSR з 50% до 70% призводить до зростання продуктивності на 10–15%. Це зумовлено покращеною проникністю газів у зоні горіння та зменшенням втрат тепла на реакцію з CO_2 .

Особливу увагу приділяють контролю за розміром коксу – оптимальна фракція становить 40–80 мм. Надто дрібний або надто великий кокс порушує газодинаміку у печі. Також важливим є вміст летких речовин – їх надлишок негативно впливає на температурний режим у зоні горіння.

Таким чином, якість доменного коксу є критичним фактором для енергоефективності, економічності та стабільності доменного процесу. Комплексна оцінка властивостей коксу дозволяє адаптувати параметри процесу до конкретних технологічних умов та досягати оптимальних показників виробництва чавуну [7].

1.5 Взаємодія вугілля з водним та органічним середовищем у технологічному процесі

1.5.1 Причини тривалого контакту вугілля з водою у виробничих умовах

Тривала взаємодія вугілля з водою в умовах промислової переробки є поширеним явищем, обумовленим особливостями технологічних процесів, транспортними операціями та умовами зберігання вугільної продукції. Усі ці фактори не лише змінюють фізико-хімічні характеристики вугілля, а й суттєво впливають на його подальші експлуатаційні якості. Глибоке розуміння причин тривалого контакту вугілля з водою є необхідним для розробки ефективних заходів збереження якості вугілля під час збагачення, транспортування і складування.

Основні технологічні процеси, що сприяють тривалому контакту вугілля з водою:

а) Гідротранспортування вугілля

Однією з основних причин тривалого контакту вугілля з водою є застосування гідравлічного транспортування, яке передбачає переміщення вугілля у водних суспензіях на великі відстані (до 450 км і більше). Гідротранспорт забезпечує суттєву економію енергетичних витрат порівняно з механічними системами транспортування, однак призводить до тривалого перебування вугілля у воді (Рис. 1.2).

б) Процеси збагачення тонкодисперсного вугілля

Селективна масляна агрегація (СМА), флотація, флокуляція й інші методи вуглезбагачення здійснюються у водних середовищах. Наприклад, при СМА тонкодисперсне вугілля утворює агрегати у воді, що також призводить до тривалого контакту з водною фазою.

Hydrotransportation of Coal

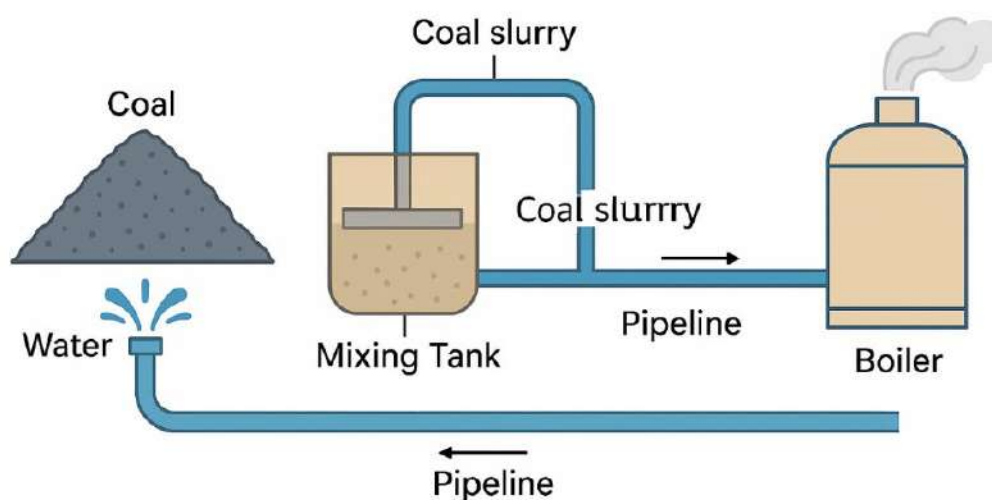


Рис 1.2 Схематичне зображення процесу гідротранспортування вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

в) Процеси зневоднення і складування вугільних шламів

Після збагачення вугільні концентрати часто не відразу піддають сушінню. Зберігання у шламосховищах або у відкритих відстійниках сприяє тривалому насиченню вугілля водою.

Таблиця 1.4

Основні технологічні процеси, що сприяють тривалому контакту вугілля з водою

№	Процес	Час контакту з водою	Особливості
1	2	3	4
1	Гідротранспортування	від 10 год до 5 діб	Великі відстані транспортування
2	Селективна масляна агрегація	від 2 до 12 годин	Формування вуглемасляних структур у воді
3	Відстій і зберігання у шламосховищах	дні - тижні	Повільне зневоднення, окислення

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

Фактори, що посилюють тривалість контакту з водою

а) Технічні причини:

- 1) використання закритих циклів гідротранспорту;
- 2) низька швидкість руху пульпи у трубопроводах;
- 3) великі об'єми води для підтримки стабільної гідросуміші

б) Організаційно-технологічні причини:

- 1) відсутність або недостатня швидкість процесів механічного зневоднення;
- 2) низька ефективність шламових насосів;
- 3) перевантаження відстійників і шламосховищ

Наслідки тривалого контакту вугілля з водою

Тривале перебування у воді призводить до (Рис. 1.3):

- а) підвищення вологості продукту до 25-40%, що суттєво знижує енергетичну цінність вугілля;
- б) окиснення органічної речовини вугілля, що сприяє утворенню кисневих функціональних груп на поверхні зерен;
- в) зменшення міцності вуглемасляних агрегатів за рахунок вимивання масляної фази;
- г) підвищення зольності через адсорбцію мінеральних домішок із водної фази;
- д) зростання пилоутворення після висихання продукту

Вплив тривалого контакту на коксівні властивості вугілля

За даними досліджень, які проведено на гідротранспортних установках, виявлено, що тривале транспортування вугілля у водних середовищах суттєво погіршує його коксівні властивості (Рис. 1.4).

Зокрема:

- а) зменшується структурна міцність коксу;
- б) підвищується пористість;
- в) знижується вихід рідких продуктів коксування

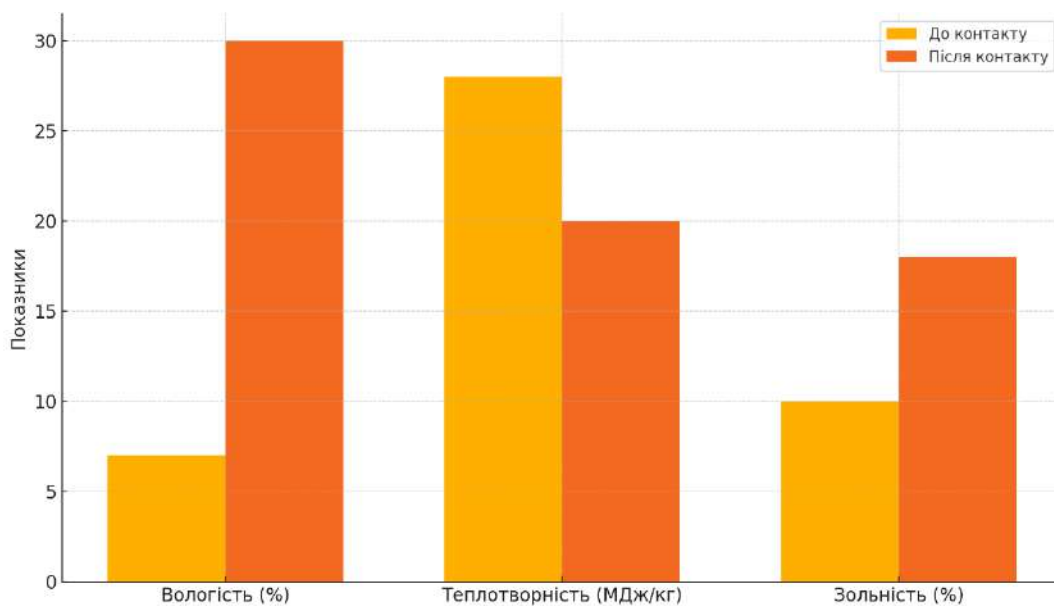


Рис. 1.3 Діаграма порівняння характеристик вугілля до та після тривалого контакту з водою

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

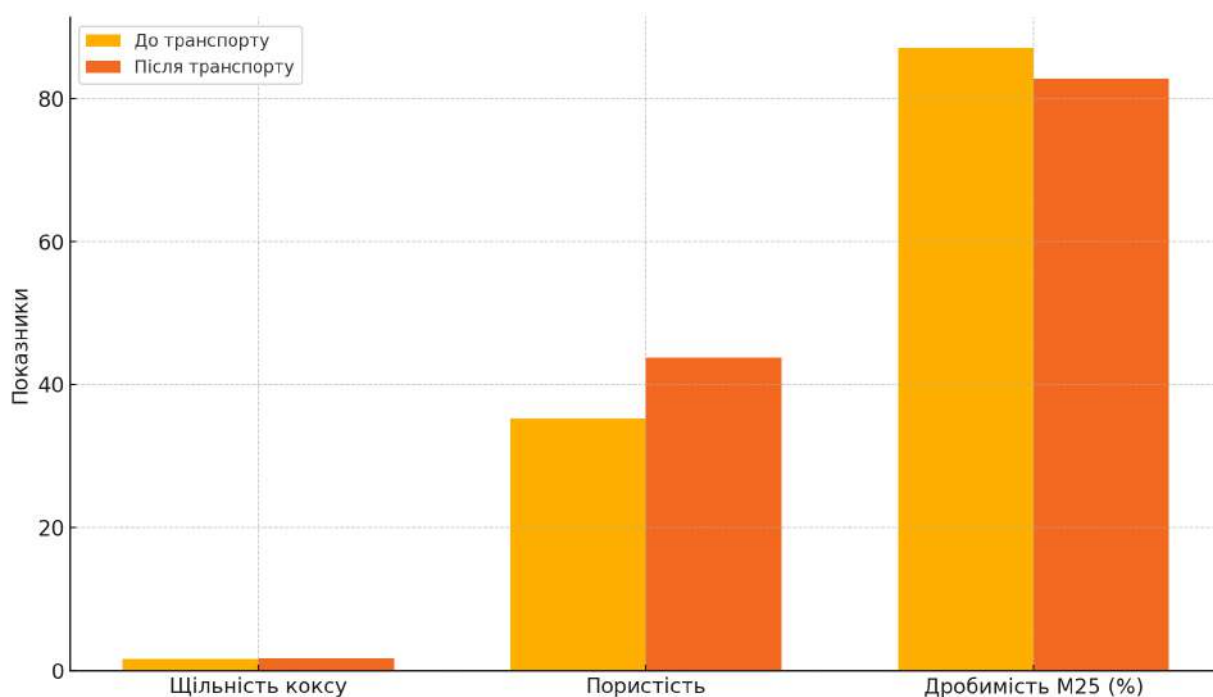


Рис. 1.4 Вплив гідротранспортування на показники коксівних властивостей

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

Для мінімізації негативних наслідків тривалого контакту вугілля з водою пропонуються такі заходи:

- а) агломерація вугілля перед гідротранспортуванням шляхом селективної масляної агрегації;
- б) швидке зневоднення вугільних продуктів після транспортування за допомогою сучасних фільтруючих установок;
- в) регенерація масляної оболонки шляхом додавання нових порцій реагенту;
- г) контроль режимних параметрів гідротранспортування: концентрація пульпи, швидкість руху, температура

Тривалий контакт вугілля з водою у виробничих умовах є наслідком об'єктивних технологічних потреб. Проте він негативно впливає на фізико-хімічні властивості та якість кінцевого продукту.

Ефективне застосування технологій попередньої агрегації, оперативного зневоднення та регенерації вуглемасляних комплексів дозволяє мінімізувати небажані зміни, що виникають під час контакту вугілля з водою.

Ці зміни впливають на технологічні характеристики вугілля — теплоту згоряння, зольність, реакційну здатність, адсорбційні властивості та інші важливі параметри.[8]

Мікроструктурні зміни вугілля після контакту з водою:

- а) пористість та мікротріщини. Вода, проникаючи у пори вугілля, викликає його розбухання, а при висиханні — усадку. Це призводить до утворення мікротріщин та розширення наявних пор, що ілюструється в таблиці 1.5 [9].

Таблиця 1.5

Зміна пористості вугілля після зволоження та висушування

№ п/п	Показник	До зволоження	Після зволоження	Після висушування
1	2	3	4	5
Загальна пористість, %	8,2	9,5	11,8	Загальна пористість, %
Кількість мікротріщин, шт/см ²	120	135	185	Кількість мікротріщин, шт/см ²

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [9]

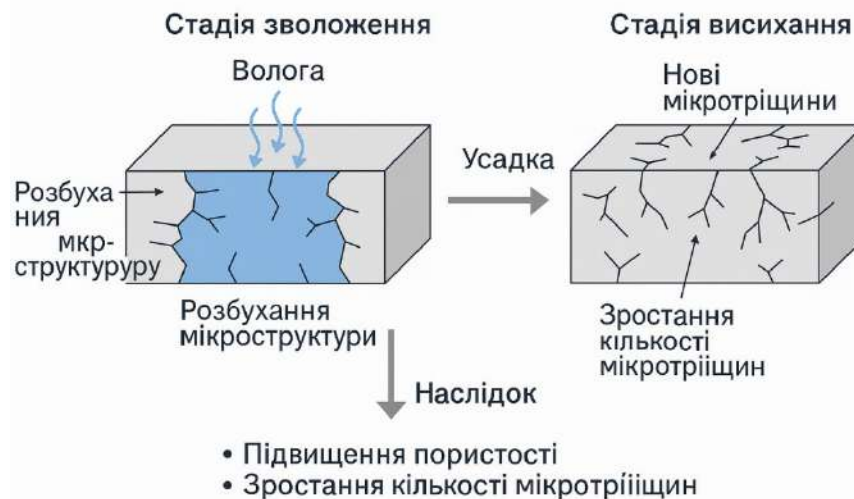


Рис. 1.5 Схема утворення мікротріщин під впливом вологи

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [9]

б) зміни мікроструктури (скануюча електронна мікроскопія, СЕМ). Згідно з даними досліджень, після контакту з водою поверхня вугілля стає більш розсіяною, із характерною структурою розшарування. Це свідчить про руйнування міжмолекулярних зв'язків у результаті гідратації.

Хімічні зміни внаслідок водного впливу:

а) зміна зольності

Внаслідок процесів вилуговування та розчинення мінеральних компонентів у воді, зольність вугілля, як правило, зростає. Це пов'язано з

реорієнтацією мінеральних домішок та вторинним осадженням на поверхні частинок;

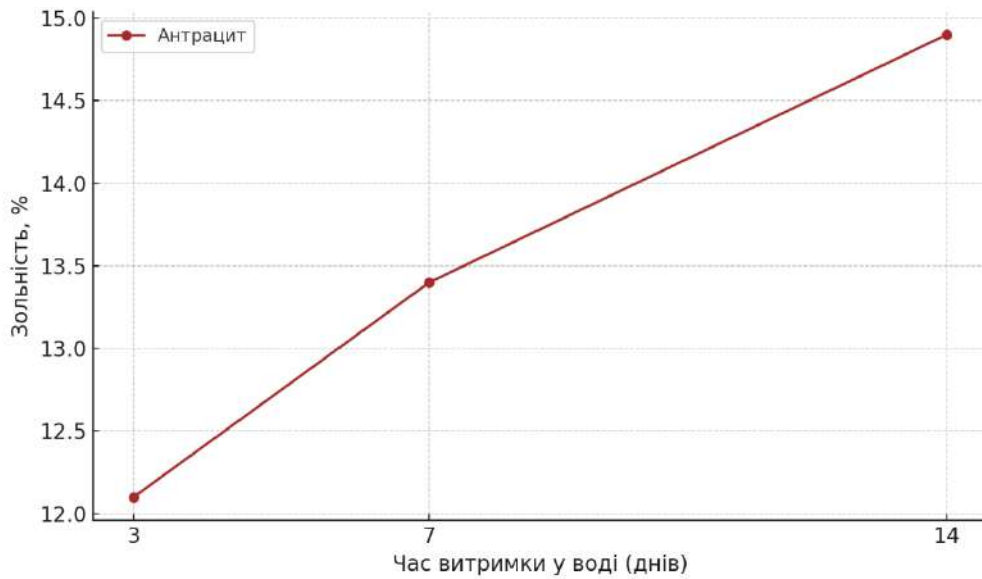


Рис. 1.6 Зміна зольності вугілля після витримки у воді для антрациту

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [10]

б) окиснення органічної маси. Кисень, розчинений у воді, бере участь в окисних процесах. Утворюються карбоксильні, гідроксильні та карбонільні групи, що збільшує гідрофільність вугілля. Це знижує його теплоту згоряння

Таблиця 1.6

Вміст функціональних груп у вугіллі до і після контакту з водою

№ п/п	Функціональна група	До контакту, %	Після 14 днів контакту, %
1	2	3	4
1	-COOH (карбоксильна)	0,8	2,3
2	-OH (гідроксильна)	1,2	3,0
3	C=O (карбонільна)	0,6	1,7

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [10]

Наслідки змін:

а) підвищення гігроскопічності — вугілля краще вбирає вологу з повітря після контакту з водою;

б) зменшення теплоти згоряння — через утворення полярних груп і підвищення зольності;

г) погіршення транспортувальних властивостей — підвищена крихкість через тріщини

Контакт вугілля з водою призводить до комплексних змін, які необхідно враховувати при зберіганні, транспортуванні та підготовці вугілля до спалювання. Підвищення пористості, хімічне окиснення та зростання зольності знижують його енергетичну цінність.

Зміна електричних властивостей вугілля. Тривале перебування вугілля у водному середовищі призводить до зниження його електропровідності. Це пов'язано з утворенням кисневмісних функціональних груп на поверхні вуглецевих частинок, які порушують електронну структуру матеріалу. Зменшення електропровідності може негативно впливати на процеси, де важливе значення мають електричні властивості вугілля, наприклад, у металургійних печах.

Вплив на термічну стабільність. В результаті водного впливу відбувається зниження термічної стабільності вугілля. Це проявляється у зменшенні температури початку термічного розкладу та зниженні теплової стійкості матеріалу. Такі зміни можуть ускладнювати процеси термічної обробки вугілля, зокрема коксування.

Зміна сорбційних властивостей. Після тривалого контакту з водою вугілля демонструє зміну сорбційних характеристик. Зокрема, зменшується його здатність до адсорбції органічних речовин, що пов'язано зі змінами поверхневої хімії та структурними трансформаціями. Це може впливати на ефективність використання вугілля в процесах очищення води або газів.

Механічна деградація структури. Водне насичення призводить до механічної деградації структури вугілля. Зокрема, спостерігається зниження міцності та підвищення крихкості матеріалу. Це ускладнює транспортування

та зберігання вугілля, оскільки підвищується ризик утворення пилу та втрат матеріалу.[10]

1.5.2 Селективна масляна агрегація вугілля та її продукти

Вологість є одним із найбільш критичних факторів, що впливають на якість вугілля в процесах збагачення, транспортування та підготовки до коксування. При взаємодії з водою вугілля зазнає не лише поверхневих, але й глибинних структурних змін. Особливо це стосується тонкодисперсного вугілля, яке піддається селективній масляній агрегації (СМА). Агрегати, сформовані в умовах водного середовища, мають специфічну мікроструктуру, яка при зволоженні стає вразливою до руйнування. Механізм цього впливу охоплює не лише фізичне розпушення, але й хімічну деградацію, зміну змочуваності поверхонь, порушення масляного покриття.

Процес селективної масляної агрегації вугілля (СМА) являє собою сукупність фізико-хімічних і гідродинамічних механізмів, спрямованих на об'єднання тонкодисперсної вугільної фази у водному середовищі за допомогою масляних реагентів. В основі цього процесу лежить адгезійна взаємодія між олеофільною (маслолюбною) поверхнею вугілля і маслом, внаслідок чого досягається вибіркоче змочування вугільних частинок і формування агрегатів у турбулентному потоці води.

При цьому гідрофільні домішки, що не змочуються маслом, залишаються у водній фазі і можуть бути відокремлені у вигляді породної суспензії.

Основні стадії процесу СМА:

- а) адгезійне захоплення вугільних частинок краплями масла;
- б) формування стійких масляних агрегатів;
- в) відділення агрегатів від породної суспензії

В залежності від технологічних параметрів і кінцевого продукту розрізняють три типи процесів:

а) масляна грануляція (МГ) — агрегування частинок розміром до 3–5 мм у крупні гранули;

б) масляна агломерація (МА) — формування агрегатів із широким розподілом розмірів;

в) масляна флокуляція (МФ) — злипання ультратонких часточок розміром до 0,1–0,2 мм



Рис. 1.7 Гранульоване вугілля (максимальний розмір гранул – 6 мм)

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

Гранулят – це сипкий продукт, що складається із кулястих або овальних гранул розміром від 0,5–0,7 мм до 7–10 мм (рис. 1.6). Агломерат – полідисперсний продукт, представлений вуглемасляними комплексами крупністю 0,2–0,3 мм до 1,1–1,3 діаметру вихідного вугілля.

Флокули – це пухкі або ущільнені вуглезв'язуючі комплекси, що мають розміри не більше 0,2–0,3 мм. Питомі витрати масляного зв'язуючого на 1000 см² зовнішньої поверхні вугілля:

- а) при грануляції – 8–12 % від сухої маси вугілля;
- б) при агломерації – 2–3 %;
- в) при флокуляції – 0,2–0,5 %

Абсолютні витрати масла змінюються в залежності від розміру частинок і властивостей зв'язуючого:

- а) Для грануляту – 8–50 мас. %;
- б) Для агломерату – 2–7 мас. %;
- в) Для флокуляту – 0,5–2 мас. %

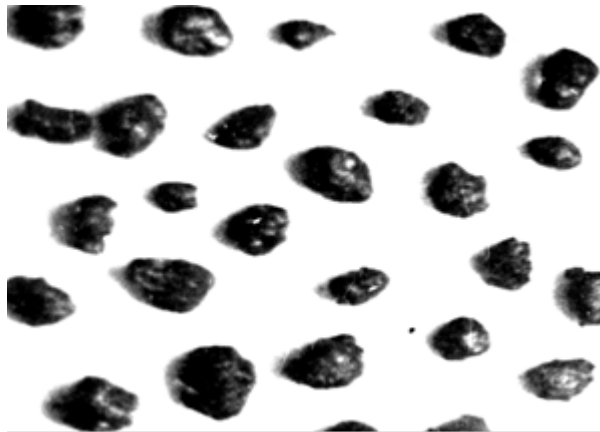


Рис. 1.8 – Агломероване вугілля (максимальний розмір агломератів – 4,5 мм)

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [2]

Структурні типи вугільних агрегатів:

Аналіз понад 200 аншліфів агрегатів дозволив виділити чотири основні типи структур:

Тип I – ущільнені агрегати з тонкими граничними плівками зв'язуючого між зернами.

Тип II – агрегати з увігнутими менісками зв'язуючого на поверхні зерен.

Тип III – краплі зв'язуючого, заповнені вугільними зернами.

Тип IV – пухкі скупчення вугілля, з'єднані місточками зв'язуючої речовини [1,2].

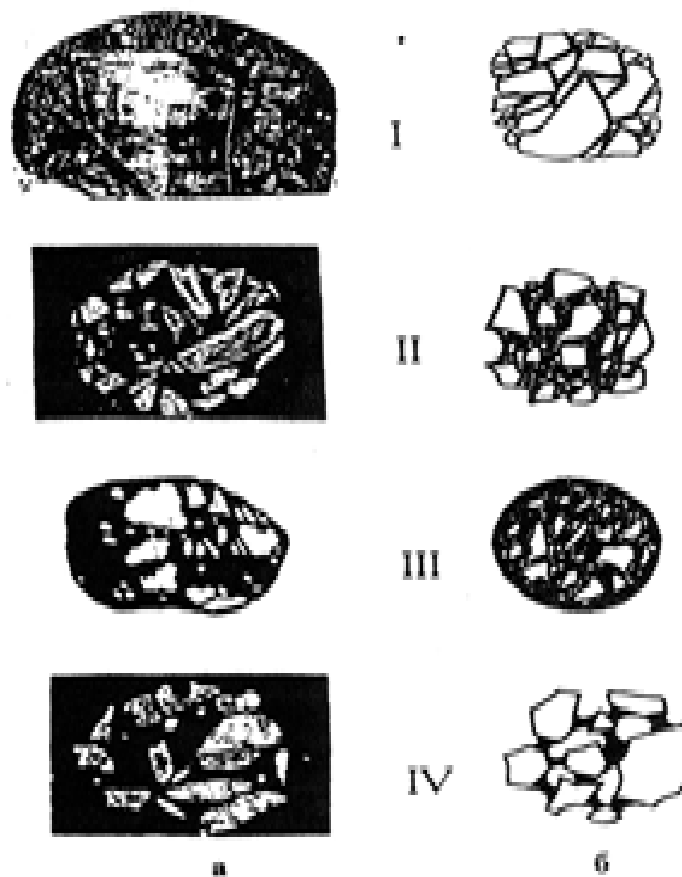


Рис. 1.9 Структурні типи агрегатів: а – аншліфи; б – малюнки з мікроскопу

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [2]

Під час СМА формуються чотири основні типи структур вуглемасляних агрегатів (рис. 1.9). Кожен з них має різну форму, спосіб зв'язку між частинками, ступінь насиченості маслом і відповідну водостійкість:

Таблиця 1.7

Типи структур вуглемасляних агрегатів та їх характеристика

№ п/п	Тип структури	Характеристика	Діаметр, мм	Міцність, кг/см ²	Водостійкість
1	2	3	4	5	6
1	Тип I	Поверхнєве масляне покриття (гладка поверхня)	1,5–2,5	3,5–4,5	Висока

Продовження табл.1.7

1	2	3	4	5	6
2	Тип II	Плівкове з'єднання частинок	1,0–1,8	1,2–1,5	Середня
3	Тип III	Об'єднання навколо крапель масла	0,7–1,3	0,7–0,8	Низька
4	Тип IV	Масляні містки між частинками	0,5–1,0	0,5–0,6	Дуже низька

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [2]

Фізико-хімічні характеристики агрегатів

Основні характеристики різних типів вугільних агрегатів подано в таблицях 1.8 і 1.9.

Таблиця 1.8

Основні фізико-хімічні характеристики вуглемасляних агрегатів

№ п/п	Тип структури	Крупність вугілля, мм	Вміст мазугу, %	Діаметр агрегату, мм	Міцність за пенетраційним методом, 10^{-3} Н
1	2	3	4	5	6
1	I	0–1,0	1–7	0,2–1,2	2,5–3,3
2	II	0–0,1	8–25	0,5–3,0	1,4–1,9
3	III	0–0,1	>20	1–5	1,1–1,4
4	IV	0,3–1,0	4–5	0,4–2,0	–

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [2]

Таблиця 1.9

Пластична міцність, липкість і ступінь покриття поверхні гранул

№ п/п	Тип структури	Пластична міцність, кг/см ²	Липкість, г/см ²	Частка покриття гранул, %
1	2	3	4	5
1	I	3,5–4,5	1,5–4,0	58–79
2	II	1,2–1,5	18–28	86–95
3	III	0,7–0,8	10–15	100
4	IV	1,8–2,0	2–3	40–44

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [2]

Особливості агрегатів за структурним типом

-Тип I: мінімальна кількість зв'язуючого; висока міцність; помірна липкість.

-Тип II: середня міцність; нестабільна липкість; повне покриття маслом.

-Тип III: мінімальна міцність; максимальна липкість; 100% покриття.

-Тип IV: слабкий місточковий зв'язок між зернами; невелика пластична міцність [9].

Механізм впливу зволоження на структуру

Вода, проникаючи в пори і міжчастинкові простори агрегатів, руйнує капілярні зв'язки, зменшує ефективність масляного покриття, розчиняє або розмиває тонкі меніскові плівки, що утворилися в процесі агрегації.

Особливо швидко руйнуються структури III та IV типу через слабку масляну фіксацію. Структури типу I частково зберігають цілісність, але втрачають пластичну міцність.

Дослідження коксівних властивостей вуглемасляних агрегатів

Багато лабораторних і промислових досліджень підтвердили, що застосування СМА дозволяє:

- а) збагачувати вугілля високої зольності;
- б) знесірчувати вугілля (видалення 70–80 % піритної сірки);

- в) зменшувати вологість вугілля до 7–15 %;
- г) підвищувати стійкість вугілля до окиснення, розмокання і пилоутворення

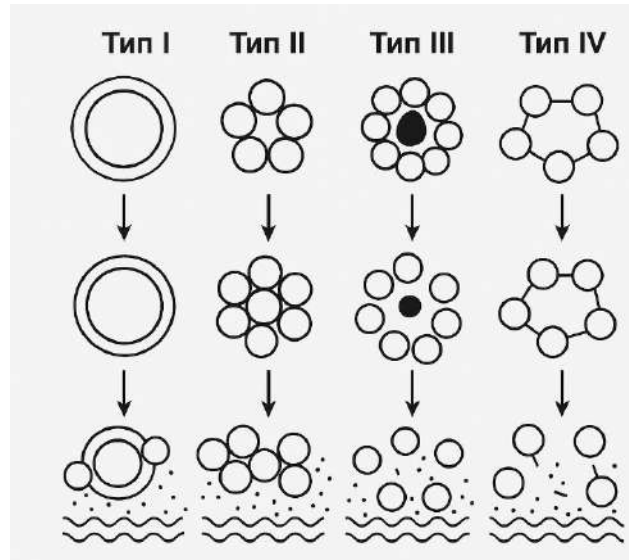


Рис. 1.10 Схема деградації агрегатів типів I–IV у водному середовищі

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

Особливу увагу приділено дослідженню впливу масляної агрегації на коксівні властивості вугілля:

- підвищення міцності структури коксу;
- зменшення зольності;
- збільшення виходу рідких продуктів коксування;
- підвищення продуктивності коксових печей

Таблиця 1.10

Результати ящичного коксування агломерованої і неагломерованої

ШИХТИ

№ п/п	Об'єкт дослідження	Дробимість M25	Стираємість M10	$W_{\text{ткк}}^{\text{r}}, \%$	$A_{\text{кк}}^{\text{d}}, \%$	Щільність дійсна, г/см ³	Пористість, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вихідна шихта	87	6	2,43	12,10	1,66	35,20

Продовження табл. 1.10

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Шихта після гідротранспортування, неагломерована	82,8	6,8	1,10	12,75	1,80	43,80
3	Агломерована	93	3,9	0,97	12	1,86	43,40

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

Таблиця 1.11

Зміна механічних характеристик після зволоження

№ п/п	Тип структури	Міцність до (кг/см ²)	Міцність після (кг/см ²)	Втрата міцності (%)
1	2	3	4	5
1	Тип I	4,2	2,4	43%
2	Тип II	1,4	0,9	36%
3	Тип III	0,8	0,5	38%
4	Тип IV	0,6	0,3	50%

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1,2]

Вплив зволоження на коксівні властивості

Після гідротранспортування або тривалого зберігання у воді властивості вугілля, зокрема його здатність до коксування, суттєво змінюються

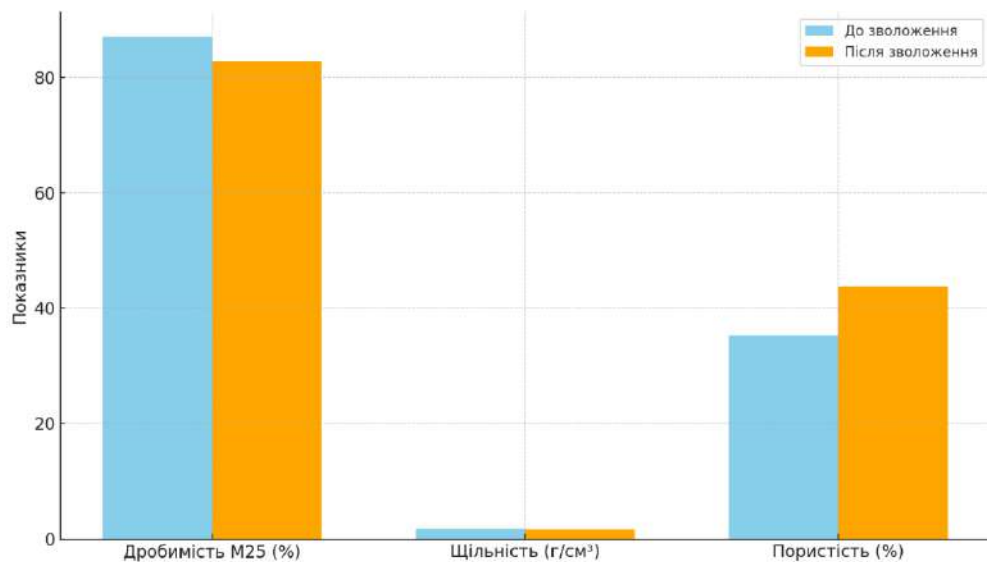


Рис.1.11 Вплив зволоження на коксівні властивості: дробимість, щільність, пористість (буде додано як зображення)

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

Додаткові ефекти зволоження:

- а) зміна поверхневої енергії: зменшується змочуваність масла, підвищується гідрофільність поверхонь;
- б) збільшення зольності: мінеральні домішки з води приєднуються до вугілля;
- в) погіршення фільтраційних властивостей: вода утримується в порах, сповільнюючи сушіння

Шляхи підвищення водостійкості

Дослідження стабілізаційних добавок показали (табл. 1.15).

Зволоження призводить до суттєвої деструкції структур вуглемасяних агрегатів. Найменш стійкими є типи III та IV, які повністю розпадаються під впливом води. Це призводить до втрати механічної міцності, збільшення пористості та зниження якості коксу.

Таблиця 1.15

Порівняння ефективності стабілізуючих добавок

Реагент	Ефективність збереження структури (%)
Ароматичні вуглеводні	72%
Кремнійорганічні сполуки	85%
Емульсії зі стабілізаторами	90%

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

Для збереження властивостей вугілля доцільно застосовувати комплекс стабілізуючих реагентів і мінімізувати контакт з водою після агрегації.[8]

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічні особливості гідравлічного транспортування вугілля

Гідравлічне транспортування вугілля — це процес переміщення вугільної маси у вигляді водної суспензії (пульпи) через трубопроводи. Цей метод широко застосовується в гірничій промисловості для доставки сировини від місць видобутку до збагачувальних фабрик або інших промислових об'єктів. Перевагами гідротранспорту є висока продуктивність, зменшення пиловиділення та можливість автоматизації процесу. Однак, існують і недоліки, зокрема, вплив на якість вугілля, особливо коксівного, через подрібнення та гідролітичну деструкцію. Гідравлічне транспортування вугілля передбачає переміщення твердих частинок у вигляді пульпи (суміші води та подрібненого вугілля) через трубопроводи за допомогою насосів. Цей метод широко застосовується для транспортування насипних вантажів, таких як вугілля, глина, концентрати, пісок, зола та шлаки, з шахт і кар'єрів на переробні підприємства та збагачувальні фабрики.

Системи гідравлічного транспортування класифікуються за типом конструкції та способу переміщення пульпи:

а) пульпові системи: Використовують насосне обладнання для переміщення пульпи через трубопроводи. Ці системи забезпечують високу швидкість транспортування та можливість автоматизації процесу;

б) напірні системи: Забезпечують рух пульпи під впливом гравітації або тиску, створеного різницею висот. Цей тип систем є енергоефективним, але обмежений у використанні на рівнинних територіях;

в) відкриті каналні системи: Складаються з відкритих каналів або жолобів, по яких пульпа рухається під дією сили тяжіння. Ці системи прості у будівництві та обслуговуванні, але мають обмежену пропускну здатність і залежать від погодних умов

Основні компоненти системи гідротранспорту

Система гідравлічного транспортування вугілля складається з наступних основних елементів:

а) гідрозмішувачі: пристрої для утворення пульпи шляхом змішування вугілля з водою;

б) трубопроводи: мережа труб, по яких пульпа транспортується до місця призначення;

в) насосні станції: забезпечують необхідний тиск для переміщення пульпи по трубопроводах;

г) системи зневоднення: обладнання для видалення води з пульпи перед подальшою обробкою або використанням вугілля;

д) системи очищення та рециркуляції води: забезпечують повторне використання води в процесі транспортування

Технологічні параметри гідротранспорту

Ефективність гідравлічного транспортування вугілля залежить від ряду технологічних параметрів, таких як концентрація пульпи, швидкість потоку, розмір часток вугілля та інші. Зокрема, для самопливного гідротранспорту рекомендуються наступні параметри:

Таблиця 2.1

Рекомендовані параметри самопливного гідротранспорту вугілля

№ п/п	Параметр	Значення
1	2	3
1	Розмір часток вугілля	0 – 250 мм
2	Глибина потоку	40 – 100 мм
3	Похил жолоба	0,02 – 0,08
4	Співвідношення твердого до рідини (Т:Р)	1:3 – 1:15

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [11]

Вплив гідротранспорту на якість вугілля

Гідравлічне транспортування може впливати на фізико-хімічні властивості вугілля, що особливо важливо для коксівного вугілля. Основні негативні впливи включають:

а) подрібнення вугілля: турбулентні потоки та механічні удари в трубопроводах можуть призводити до подрібнення вугілля, що змінює його гранулометричний склад і може негативно впливати на процес коксування;

б) гідролітична деструкція: тривалий контакт з водою може викликати гідролітичні процеси, що змінюють хімічний склад вугілля;

в) перерозподіл петрографічних компонентів: спостерігається переподрібнення вітринітової частини шихти до розмірів 10 мкм і менше, що впливає на якість кінцевого продукту

Переваги та недоліки гідравлічного транспортування для українських вугільних регіонів

Переваги:

а) висока продуктивність та ефективність при транспортуванні на великі відстані;

б) зменшення пиловиділення та покращення екологічних умов;

в) можливість автоматизації процесу транспортування

Недоліки:

а) необхідність попереднього подрібнення вугілля та утворення пульпи;

б) високі витрати води та енергії;

в) знос обладнання через абразивний характер пульпи;

г) проблеми зі зневодненням вугілля після транспортування[11]

Сучасні технології та перспективи

Сучасні дослідження спрямовані на вдосконалення технологій гідравлічного транспортування вугілля, зокрема:

а) пакетне транспортування: використання спресованих брикетів вугілля, що зменшує витрати води та енергії;

б) масляна агломерація: створення вуглемасляних структур типу "ядро – оболонка" для зменшення подрібнення та збереження коксівних властивостей вугілля під час гідротранспортування

Таким чином, гідравлічне транспортування вугілля є ефективним методом переміщення сировини, проте вимагає врахування ряду факторів для збереження якості вугілля, особливо коксівного. Впровадження сучасних технологій, таких як масляна агломерація, дозволяє мінімізувати негативні впливи гідротранспорту та забезпечити високу якість кінцевого продукту.

Вимоги до параметрів пульпи

Ефективність гідравлічного транспортування вугілля значною мірою залежить від фізико-хімічних властивостей пульпи:

Концентрація твердих частинок: Оптимальна концентрація забезпечує баланс між в'язкістю пульпи та енерговитратами на її транспортування. Зазвичай вона становить 10–30% за масою.

Крупність частинок: Розмір частинок вугілля впливає на абразивність пульпи та знос трубопроводів. Рекомендується використовувати частинки розміром до 5 мм для зменшення зносу обладнання.

Температура води: Температура пульпи впливає на її в'язкість і, відповідно, на енерговитрати при транспортуванні. Оптимальна температура становить 20–30°C.

Особливості впливу гідротранспортування на властивості вугілля

Гідравлічне транспортування може впливати на фізико-хімічні властивості вугілля:

а) збільшення вологості: вугілля насичується водою, що може ускладнювати подальше зберігання та використання;

б) зміна зольності: можливе збільшення зольності через змішування з породою під час транспортування;

в) втрати дрібних фракцій: дрібні частинки вугілля можуть втрачатися або осідати в трубопроводах, що знижує загальну ефективність процесу

Проблематика гідропереміщення вугілля з нестандартними параметрами (на прикладі шахти «Красноармійська Західна № 1»)

Вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» (КЗ-1) характеризується високим вмістом кисню (21,2%) та низькою спікливістю (3 бали), що ускладнює його транспортування та подальше використання. Гідротранспорт може призводити до додаткового насичення вологою, що негативно впливає на якість вугілля. Для вирішення цієї проблеми застосовується технологія селективної масляної агрегації (СМА), яка дозволяє знизити зольність до 5,9 – 6,1% та зменшити вологість вугілля, покращуючи його спікливість та стабільність при транспортуванні.

Схеми гідротранспорту з прикладами для шахт типу КЗ-1

Для шахт з нестандартними параметрами вугілля, такими як КЗ-1, рекомендується використання комбінованих систем гідротранспортування, що включають:

- а) системи попереднього зневоднення: Зменшують вологість вугілля перед транспортуванням;
- б) системи контролю фракційного складу: Забезпечують збереження дрібних фракцій вугілля;
- в) системи очищення пульпи: Видаляють домішки та знижують зольність вугілля

Опис комбінованої системи гідротранспортування для шахт типу КЗ-1:

Бункер первинного накопичення вугілля:

Вугілля, що надходить з очисного забою, спочатку подається у спеціальний проміжний бункер. Цей елемент служить для стабілізації подачі матеріалу та створення буферного запасу, необхідного для рівномірної подачі в наступні етапи обробки.

Система попереднього зневоднення:

Після бункера вугілля потрапляє до обладнання для зневоднення (наприклад, вакуум-фільтрів або центрифуг). Метою цього етапу є зниження вологи у вугіллі до рівня, який дозволяє уникнути надмірного розведення

пульпи при подальшому транспортуванні. Це особливо важливо для вугілля з підвищеною природною вологістю, як у шахті КЗ-1.

Система контролю фракційного складу:

Далі вугілля проходить через грохоти або сита, які забезпечують розділення за фракціями. Основна мета — зберегти дрібні фракції (пиловидні та дрібнозернисті частки), які можуть втрачатися при звичайному гідротранспортуванні. Цей етап дозволяє підвищити вихід кондиційного палива та зменшити втрати цінного продукту.

Вузол формування пульпи:

Оброблене вугілля подається у змішувач, де воно змішується з водою у чітко регламентованій пропорції. На цьому етапі формується вугільна пульпа з необхідною концентрацією твердих частинок. Спеціальні датчики автоматично регулюють співвідношення вода-вугілля залежно від властивостей сировини.

Система очищення пульпи:

Сформована пульпа проходить через гідроциклони або інші очисні установки. Їхнє завдання — видалення мінеральних домішок, піску, глинистих включень та інших забруднювачів, які підвищують зольність палива. Таким чином покращуються якісні характеристики пульпи до подачі в магістраль.

Гідротранспортна магістраль:

Очищена пульпа подається в магістральний трубопровід, по якому транспортується на збагачувальну фабрику або безпосередньо до місць накопичення. Переміщення пульпи забезпечується насосними станціями з урахуванням відстані та перепадів висот. Система може бути каскадною (поетапне транспортування з повторним ущільненням пульпи).

Система контролю та автоматизації:

Вся система працює під наглядом автоматизованої системи управління (АСУ), яка відстежує параметри транспортування: тиск у трубопроводах, вологість, концентрацію твердої фази, зольність тощо. Це дозволяє своєчасно

виявляти відхилення та підтримувати роботу системи в оптимальному режимі.[12]

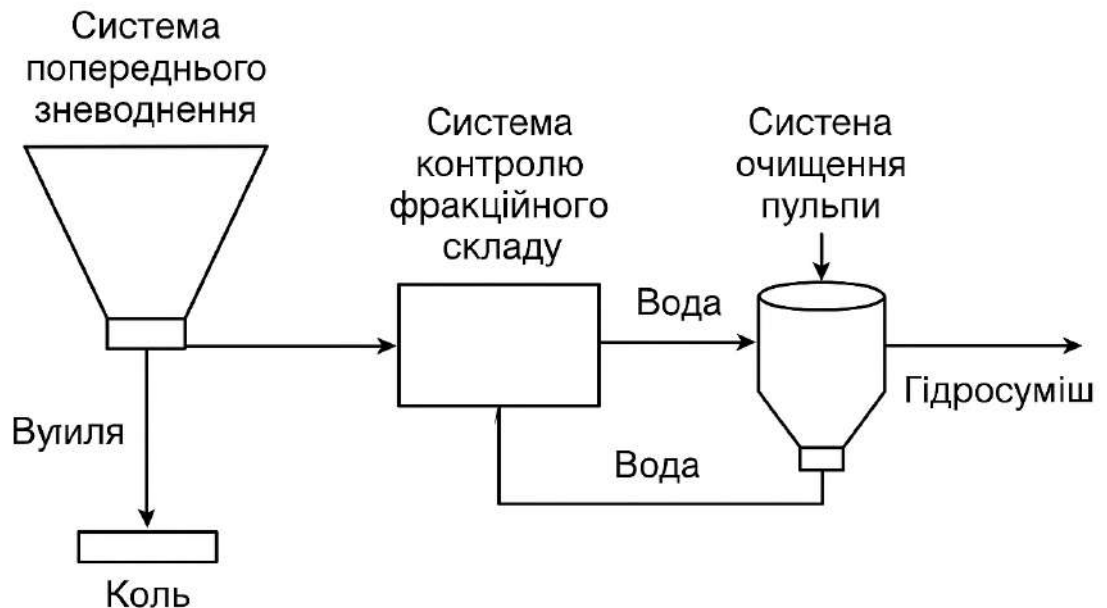


Рисунок 2.2 – Схема комбінованої системи гідротранспортування для шахт типу КЗ-1

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12]

2.2 Критерії вибору способів транспортування з урахуванням водного впливу

Раціональний вибір способу транспортування вугілля є критично важливим для забезпечення його якісного збереження, особливо для вугілля з нестандартними параметрами, як-от сировина шахти «Красноармійська Західна № 1» (КЗ-1). Основними критеріями, що впливають на рішення щодо методу транспортування, є:

- а) відстань транспортування;
- б) тип і властивості вугілля (вологість, спікливість, зольність);
- в) економічні витрати на транспортування;
- г) ризик втрат якості (втрата дрібної фракції, повторне зволоження, пилоутворення);

д) умови маршруту (наявність водних бар'єрів, обмеження по інфраструктурі)

Огляд основних способів транспортування

Залізничний транспорт

Найпоширеніший метод для середніх та довгих відстаней із централізованою логістикою. Основний недолік — ризик повторного зволоження при відкритих вагонах.

Автомобільний транспорт

Оптимальний для коротких відстаней. Основний недолік — пилоутворення і втрата дрібної фракції, що критично для вугілля типу КЗ-1.

Конвеєрні системи

Ефективні в межах підприємств. Знижують пилоутворення, але потребують високих початкових інвестицій.

Гідравлічне транспортування

Ефективне на родовищах із великим ухилом місцевості або в умовах недостатньої інфраструктури. Забезпечує безперервне транспортування, але збільшує вологість продукту, що може бути критичним для вугілля, яке й без того має підвищений вміст води (КЗ-1).

Трубопровідний транспорт (пульповий)

Зменшує втрати, але погіршує структуру вугілля та потребує сушки. Вимагає утилізації пульпової води.

Вплив різних методів транспорту на властивості вугілля

Особливості вугілля шахти КЗ-1 (підвищений вміст кисню, низька спікливість, нестабільна вологість) вимагають транспорту, який мінімізує фізико-хімічні зміни під час логістики. Це важливо з огляду на подальше використання у процесах коксування або СМА на зовнішніх підприємствах.[13]

Таблиця 2.2

Порівняльна характеристика способів транспортування вугілля

№ п/п	Спосіб транспорту	Відстань, км	Збереження спікливості	Ризик зволоження	Пилоутворення	Втрати дрібної фракції	Собівартість
1	1	2	3	4	5	6	7
2	Залізничний	100–1000	Середнє	Високий	Середній	Середні	Помірна
3	Автомобільний	10–200	Високе	Низький	Високий	Високі	Висока
4	Конвеєрний	1–15	Високе	Низький	Низький	Низькі	Висока (CAPEX)
5	Гідравлічний	5–50	Низьке	Дуже високий	Низький	Середні	Низька
6	Трубопровідний	50–300	Дуже низьке	Дуже високий	Низький	Високі	Висока

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [13]

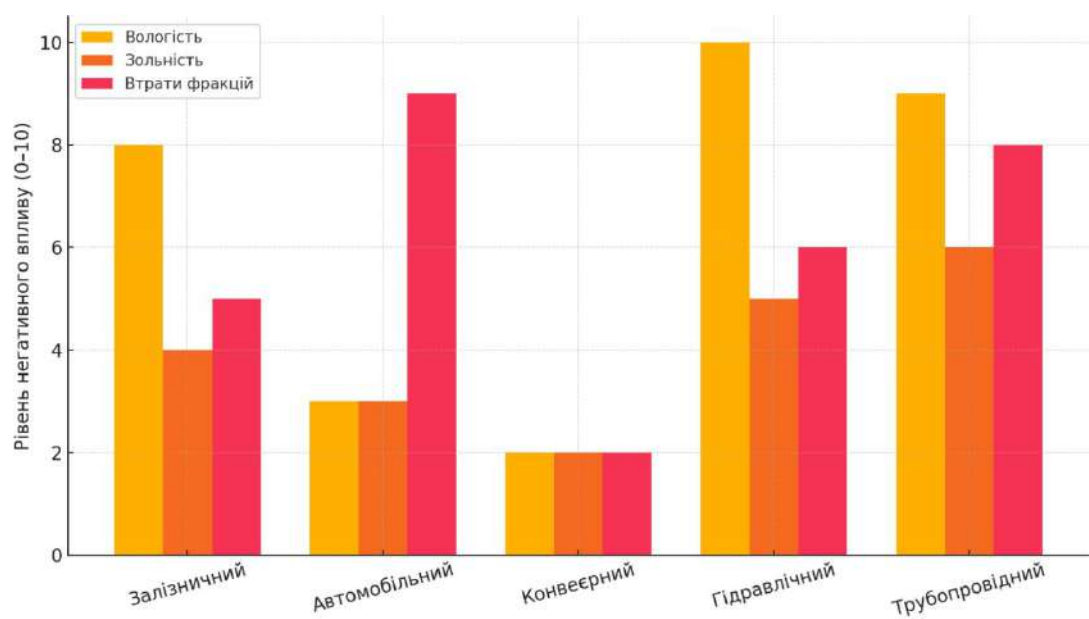


Рис. 2.3 Вплив способів транспорту на якість вугілля КЗ-1

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [13]

2.3 Обґрунтування технологічних характеристик системи транспортування

Вибір оптимального способу транспортування для вугілля КЗ-1

Враховуючи специфічні властивості вугілля шахти «Красноармійська Західна №1» (КЗ-1), зокрема:

- а) підвищену вологість;
- б) низьку спікливість;
- в) нестабільну структуру;
- г) атомне співвідношення Н/С $\approx 0,85$

Найбільш доцільним є застосування гідравлічного транспортування.

Гідравлічне транспортування - ефективний спосіб переміщення вугілля у вигляді пульпи по трубопроводах, широко застосовується в гірничій промисловості завдяки надійності й економічності. "Вугілля подрібнюється до фракції, придатної для створення пульпи (зазвичай розмір часток 0–25 мм), після чого змішується з водою у певній пропорції (концентрація 35–45%). Суспензія подається в трубопровід за допомогою насосної станції та транспортується до місця призначення - збагачувальної фабрики, складу або споживача (наприклад, коксохіму).

Цей метод дозволяє мінімізувати механічні пошкодження вугілля та забезпечити безперервність процесу транспортування.

Обґрунтування параметрів гідросистеми. Для ефективного гідротранспортування вугілля КЗ-1 необхідно врахувати наступні параметри:

- а) швидкість потоку пульпи: оптимальна швидкість повинна перевищувати критичну, щоб уникнути осідання твердих частинок. Згідно з дослідженнями, критична швидкість для вугілля становить приблизно 1,5–2,0 м/с;

б) в'язкість пульпи: залежить від концентрації твердих частинок і температури. Для забезпечення стабільного потоку рекомендується підтримувати в'язкість на рівні 1,2–1,5 мПа·с;

в) температура пульпи: оптимальна температура транспортування становить 20–25°C, що забезпечує зниження в'язкості та енерговитрат;

г) матеріал трубопроводів: рекомендується використовувати сталеві труби з антикорозійним покриттям для забезпечення довговічності системи;

д) Швидкість потоку - 1.5 – 2.0 м/с;

е) Концентрація твердої фази - 35 – 45 %;

є) Тиск у системі - до 1.5 Мпа;

ж) Діаметр трубопроводу - 150 – 500 мм (залежно від об'єму транспортування).[14]

Врахування етапу збагачення перед транспортуванням. Перед транспортуванням вугілля КЗ-1 проходить стадію збагачення на збагачувальних фабриках, де відбувається видалення породи та зниження зольності. Це дозволяє зменшити об'єм транспортування та покращити якість кінцевого продукту .

Важливість попередньої підготовки до СМА. Для забезпечення ефективного спікання вугілля на коксохімічних підприємствах необхідно зберегти його органічну структуру під час транспортування. Гідравлічне транспортування дозволяє мінімізувати механічні пошкодження та зберегти спіклівість вугілля.

Схема оптимального транспортувального ланцюга. Нижче представлена схема оптимального транспортувального ланцюга для вугілля КЗ-1:

а) дроблення та збагачення: підготовка вугілля на збагачувальній фабриці. Підготовка вугілля до транспортування та подальшого використання. Вугілля надходить із шахти або кар'єру, дробиться до потрібної фракції, проходить збагачення для видалення порід і покращення якості;

б) гідравлічне транспортування: переміщення пульпи через трубопровід до коксохімічного підприємства. Вугілля у вигляді пульпи (вугілля + вода)

подається у трубопровід. Пульпа транспортується на великі відстані до коксохімічного підприємства. Контролюється в'язкість, концентрація та тиск потоку;

в) зневоднення та сушка: видалення надлишкової вологи перед спіканням. Механічне зневоднення після прибуття пульпи. Подальша сушка теплом до вологості <10%. Вугілля готове до використання у коксовій печі;

г) спікання: виробництво коксу на коксохімічному підприємстві

Переваги гідравлічного транспорту:

а) зниження втрат дрібної фракції. Частки вугілля не розпорошуються, як це буває при сухому транспортуванні;

б) мінімізація пилоутворення. Вугілля повністю занурене у воду — відсутнє шкідливе пиління;

в) безперервність процесу. Можливість цілодобової роботи без необхідності в частих зупинках;

г) автоматизація. Система легко піддається автоматичному контролю і регулюванню;

д) мінімальні вимоги до наземної інфраструктури. Трубопроводи можна прокладати по складному рельєфу місцевості

Недоліки:

а) зволоження продукту. Вугілля після транспортування має підвищену вологість, що вимагає стадії зневоднення/сушки;

б) потреба у водних ресурсах. Подача, очищення та циркуляція води — додатковий логістичний аспект;

в) зношування труб. Необхідність періодичного технічного обслуговування трубопровідної системи [15]

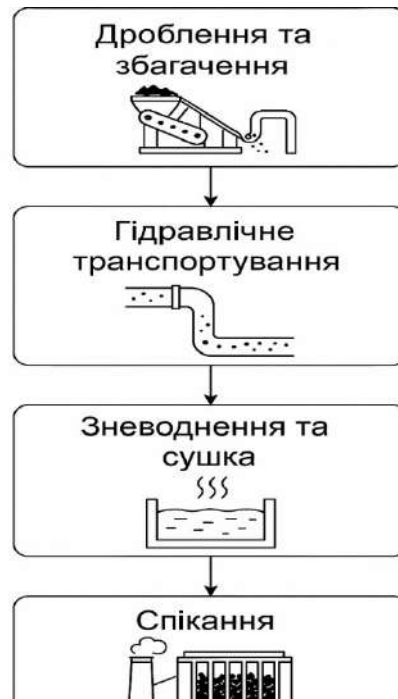


Рис.2.4 Схема оптимального гідравлічного транспортувального ланцюга для вугілля КЗ-1

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [15]

В умовах зростаючих вимог до якості вугільної сировини особливого значення набувають передові методи збагачення, зокрема селективна масляна агрегація (СМА). Цей метод дозволяє ефективно вилучати цінні компоненти вугілля навіть із високозольних відходів завдяки використанню вуглеводневих реагентів, які вибірково змочують вуглецеві частинки.

Суть СМА полягає в утворенні агрегатів (тобто злиплених гідрофобних частинок вугілля) у водно-масляному середовищі. Масло, змішуючись з водою у присутності поверхнево-активних речовин, змочує гідрофобні частинки вугілля, викликаючи їх об'єднання в більші утворення – агрегати. Надалі ці агрегати легко виділяються із суспензії за допомогою флотації або гравітаційного осадження.

Продукт СМА має низку специфічних фізико-хімічних характеристик:

- а) підвищену гідрофобність;
- б) залишковий вміст масляної фази (0,5–2%);
- в) дрібнодисперсний склад агрегатів (0,05–0,5 мм);

г) схильність до агрегації та злипання при зберіганні або механічному впливі

Ці властивості суттєво впливають на вибір і організацію транспортування. З урахуванням вибраного методу гідравлічного транспортування, важливо вже на етапі підготовки до СМА забезпечити відповідність продукту цьому способу переміщення. Адже саме структура та стабільність агрегатів визначають ефективність їх транспортування у водному потоці.

Основною складністю при гідравлічному транспортуванні є руйнування агрегатів через турбулентність потоку, а також часткове вимивання масляної фази, що призводить до зменшення гідрофобності матеріалу.

Таблиця 2.3

Оцінка придатності способів транспортування продукту СМА

№ п/п	Спосіб транспортування	Стабільність агрегатів	Енергозатрати	Ймовірність налипання	Потреба в осушенні
1	1	2	3	4	5
2	Стрічковий конвеєр	Висока	Низькі	Середня	Мінімальна
3	Гідравлічний	Низька	Середні	Низька	Висока
4	Пневматичний	Середня	Високі	Висока	Помірна
5	Вагонетковий (сухий)	Висока	Середні	Середня	Мінімальна

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [16,17]

Як видно з таблиці 2.3, гідравлічний транспорт поступається в стабільності агрегатів, однак має низький ризик налипання і може бути застосований при забезпеченні попередніх підготовчих заходів. Для збереження ефективності СМА необхідно:

- а) регулювати швидкість і турбулентність потоку;
- б) уникати перевищення температури, що знижує в'язкість масляної фази;

- в) використовувати додаткові реагенти для стабілізації агрегатів;
- г) передбачити етап осушення продукту після транспортування

Таким чином, вибір гідравлічного транспортування як методу переміщення продукту СМА є обґрунтованим за умови забезпечення відповідної технологічної підготовки до стадії СМА. Комплексний підхід до адаптації продукту до гідравлічного середовища дозволяє уникнути деградації агрегатів, зберегти гідрофобні властивості та забезпечити ефективність подальших стадій переробки [16, 17].

2.4 Методи зменшення негативного впливу води на вугілля

У процесі транспортування та підготовки вугілля, зокрема на таких об'єктах як шахта КЗ-1, однією з ключових проблем є контакт сировини з водою. Взаємодія вугілля з водним середовищем призводить до ряду негативних фізико-хімічних змін, які знижують якість сировини на стадії коксування.

Одним із основних механізмів дії води є проникнення в пористу структуру вугільного зерна. Під впливом вологи відбувається набухання пор, гідратація функціональних груп на поверхні та часткова зміна мікроструктури матеріалу. Це, у свою чергу, знижує щільність укладки частинок, погіршує теплопровідність і змінює термічну поведінку вугілля при коксуванні.

Особливо чутливими до зволоження є дрібнодисперсні фракції, які у значних обсягах утворюються на стадії селективної масляної агрегації (СМА) та подрібнення. Для таких фракцій характерне інтенсивне водопоглинання, що може викликати агломерацію частинок або розшарування пульпи, що подається на збагачення. Як наслідок — зниження спікливості, зменшення виходу якісного коксу та погіршення механічної міцності продукту.

З метою мінімізації зазначених негативних впливів у вугільній промисловості застосовуються такі технологічні підходи:

1 Використання хімічних добавок-інгібіторів

До води, яка використовується в системах гідротранспорту або промивання, можуть додаватися поверхнево-активні речовини, які зменшують капілярне проникнення води в пори. Такі інгібітори формують захисну плівку на поверхні частинок, запобігаючи гідратації

Механізм дії інгібіторів

Поверхнево-активні речовини (аніонні, катіонні або неіоногенні) адсорбуються на зовнішній поверхні вугільних частинок, утворюючи захисну плівку, яка зменшує здатність капілярного вбирання води в мікро- та макропори. Таке покриття також знижує енергію змочування, що особливо важливо для вугілля з високою питомою площею поверхні, яке утворюється після стадії механічної активації чи селективної масляної агрегації.

За рахунок зменшення гідратації функціональних груп на поверхні вугілля (особливо $-OH$, $-COOH$), відбувається стабілізація міжчастинкових зв'язків, що зберігає структуру та спікливість сировини.

Найчастіше використовуються неіоногенні або аніонні поверхнево-активні речовини, які мають високу адсорбційну здатність і низьку критичну концентрацію міцеляризації. Внаслідок дії цих речовин:

- а) зменшується поверхневий натяг води;
- б) змінюється контактний кут змочування вугілля;
- в) утворюється захисна плівка товщиною 10–50 нм

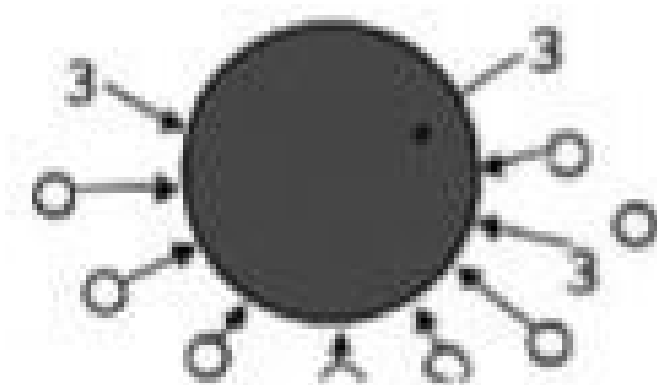


Рис. 2.5 Процес утворення плівки інгібітору на поверхні вугільної частинки:

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [18]

Таблиця 2.4

Приклади застосовуваних інгібіторів

№ п/п	Назва інгібітора	Тип ПАР	Концентрація у воді (%)	Ефект на змочування (зменшення кута змочування, %)	Особливості застосування
1	1	2	3	4	5
2	Додекаметилсилоксан (PDMS)	Неіоногенна	0.05–0.1	до 35	Використовується для створення гідрофобного бар'єру
3	Сульфонол СНП-4	Аніонна	0.1–0.5	до 28	Підвищує стабільність водновугільної пульпи
4	Поліетиленгліколь (ПЕГ)	Неіоногенна	0.2–1.0	до 40	Знижує поверхневу енергію вугілля
5	Катіонні емульгатори	Катіонна	0.05–0.2	до 30	Ефективні для тонкодисперсного вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [18]

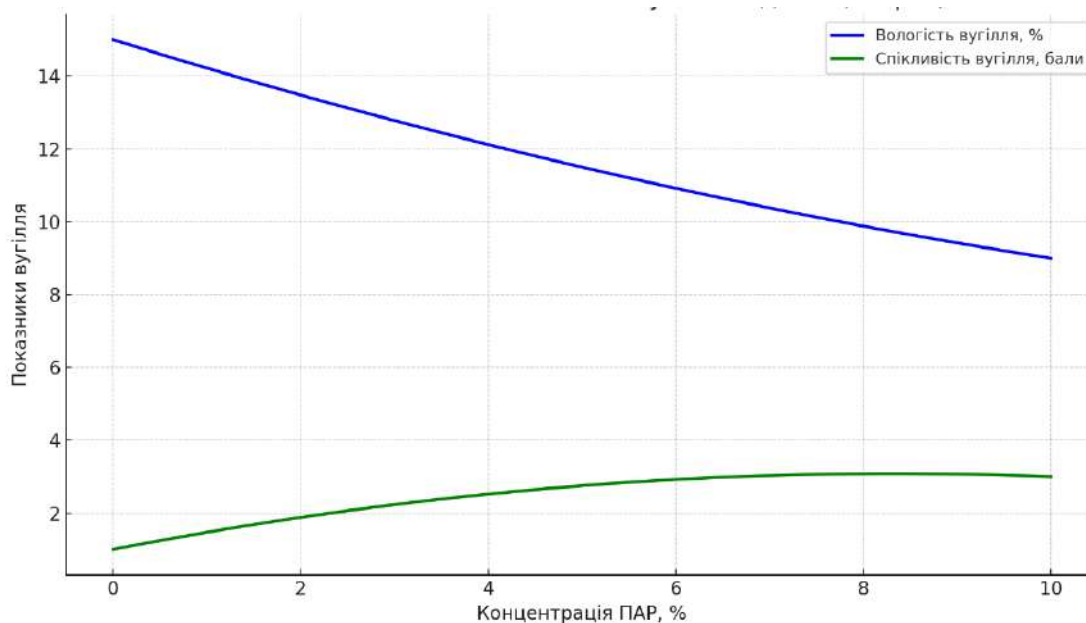


Рис. 2.6 Залежність вологості та спікливості вугілля від концентрації ПАР

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [18]

Результати лабораторного експерименту щодо впливу інгібіторної обробки на основні характеристики вугільної сировини, що транспортувалася з шахти КЗ-1 в таблиці 2.5

Таблиця 2.5

Порівняльна оцінка впливу інгібіторів на властивості вугілля

Параметр	Без обробки	З інгібітором СНП-4	З PDMS	З ПЕГ
Вологість після транспорту, %	12.3	9.2	8.7	7.9
Кут змочування, °	51°	64°	67°	72°
Пористість (ум. од.)	0.69	0.61	0.58	0.56
Співливість (за ІСР, ум. бали)	3.3	4.2	4.5	4.8
Міцність коксу, %	56	64	68	72

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Технологічна реалізація

Впровадження інгібіторів у виробничий процес можливе через дозування концентрату безпосередньо у воду, що подається в систему транспортування. Концентрації зазвичай не перевищують 0,1–0,5 мас.%, що забезпечує економічну доцільність. Найкращий ефект досягається при турбулентному перемішуванні і температурі води 25–35°C.

Переваги використання:

- а) підвищення збереженості активованого вугілля;
- б) зменшення витрат на сушіння після транспорту;
- в) зниження витрат при збагаченні та коксуванні;
- г) покращення стабільності фракційного складу

Використання хімічних добавок-інгібіторів є ефективним і економічно обґрунтованим способом зменшення негативного впливу води на вугільну сировину. В умовах шахти КЗ-1, де широко застосовується селективна масляна агрегація, така технологія може суттєво підвищити стабільність і якість кінцевого продукту — коксу.

2 Формування вуглемасляних оболонок за принципом “ядро–оболонка”

Одним із ефективних методів захисту вугільної сировини від негативного впливу вологи після стадії селективної масляної агрегації (СМА) є створення захисної гідрофобної оболонки навколо частинок. Цей підхід, відомий як метод "ядро–оболонка", передбачає покриття кожної частинки вугілля тонким шаром гідрофобного середовища(масла), зазвичай вуглеводневого масла або суміші поверхнево-активних речовин.

Принцип дії. Механізм дії методу полягає в наступному: навколо вугільного зерна (ядра) створюється рівномірна масляна плівка (оболонка), яка істотно знижує енергію взаємодії частинки з водою. У результаті зменшується капілярне зволоження та гідратація поверхні, знижується набухання пористої структури, зберігається сипучість та гранулометричний склад навіть за умов контакту з водним середовищем.



Рис. 2.7 Схема формування структури "ядро–оболонка" на прикладі вугільної частинки

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Таблиця 2.6

Вплив масляної обробки на фізико-хімічні властивості вугілля після зволоження

№ п/п	Показник	Без обробки	Після формування оболонки
1	1	2	3
2	Вологовміст після зволоження (%)	12,4	7,1
3	Насипна густина (г/см ³)	0,84	0,91
4	Кут природного укусу (°)	45	34
5	Зниження злипання (%)	–	38

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Зі збільшенням товщини шару до 0,3–0,4 мм спостерігається стабілізація водовідштовхувальних властивостей.

Технологічні особливості

У процесі СМА поверхня вугільних частинок стає активнішою до взаємодії з органічними речовинами. Саме тому нанесення масляної фази після або під час СМА забезпечує високу ефективність утворення оболонки. Результати досліджень свідчать, що масляна оболонка значно покращує водовідштовхувальні властивості, знижує водопоглинання до 30–40%, а втрати матеріалу під час транспорту – до 20%.

Переваги методу:

- а) надійний захист дрібних фракцій від агломерації у вологому середовищі;
- б) збереження сипучості та спікливості;
- в) можливість інтеграції з етапом СМА без ускладнення технології;
- г) зниження витрат на сушіння або повторну обробку вугілля

Обмеження:

- а) додаткові витрати на масляну фазу;
- б) необхідність контролю рівномірності нанесення оболонки;
- в) обмеження щодо подальшого зневоднення у водному середовищі

Метод формування вуглемасляних оболонок забезпечує ефективний захист вугільної сировини в умовах підвищеної вологості, особливо на етапах після СМА. Завдяки високій сумісності з активованими фракціями та можливості застосування у транспортних ланцюгах, цей підхід є одним із найперспективніших для підприємств, що експлуатують складні схеми підготовки коксової сировини.

3 Попередня сушка або дегідратація перед коксуванням

Після транспортування, особливо у вологих умовах, вугілля піддається механічному віджиманню або термічному сушінню для зменшення вмісту води до технологічно допустимого рівня. Застосування шнекових пресів або вакуумних сушарок дозволяє зберегти фізичні параметри вугілля

Надмірна вологість у вугільній масі призводить до зниження температури спікання, порушення рівномірності прогрівання в коксових печах і зменшення виходу якісного коксу.

Механізм впливу вологи. Підвищена вологість змінює фізико-хімічні властивості вугілля:

а) зменшує його спіклівість за рахунок поглинання теплоти випаровування води;

б) сприяє агломерації дрібнодисперсних фракцій після СМА;

в) спричиняє розшарування гранулометричного складу в шихті;

г) підвищує ризик появи мікротріщин під час нагрівання

Технологічне рішення: дегідратація. Після завершення транспортування (особливо гідравлічного або пневмотранспорту) вугілля надходить на вузол дегідратації. Існує два основних підходи:

а) Механічне зневоднення:

застосовується на вуглезбагачувальних фабриках;

1) використовуються шнекові преси, центрифуги або вакуумні фільтри;

2) ефективно видаляється до 50–70 % вологи

б) Термічна сушка:

1) проводиться у сушильних барабанах, інфрачервоних або вакуумних сушарках;

2) дозволяє досягти залишкової вологості на рівні 3–5 %;

3) витрати енергії залежать від початкової вологості

Таблиця 2.7

Порівняння ефективності різних методів сушіння

№ п/п	Метод сушіння	Ступінь видалення вологи (%)	Вплив на гранулометрію	Енергозатрати (кВт·год/т)
1	1	2	3	4
2	Шнековий прес	30–50	Низький	20–30
3	Центрифуга	40–60	Середній	25–35
4	Барабанна сушарка	60–90	Високий (при перегріві)	60–90
5	Вакуумна сушарка	70–95	Мінімальний	80–110

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Переваги попереднього зневоднення:

- а) покращення однорідності вугільної шихти;
- б) зниження витрат тепла в коксових батареях;
- в) запобігання появі пір або тріщин у коксі;
- г) зменшення технологічних втрат та утворення шламів

Попередня сушка або дегідратація є обов'язковою складовою технологічного ланцюга, особливо при використанні активованого вугілля з підвищеною вологістю після СМА або гідротранспорту. Раціональний вибір способу сушіння дозволяє зберегти якісні характеристики сировини, покращити спіклівість і стабілізувати параметри процесу коксування.

4 Очищення і згущення пульпи перед збагаченням.

Для запобігання розшаруванню водновугільної суміші на стадії збагачення застосовують циклони зворотної дії, флокулянти або вакуум-фільтри. Це дозволяє знизити частку вільної води та стабілізувати реологічні властивості пульпи

В умовах гідравлічного транспортування вугілля, особливо при великих об'ємах водновугільної суміші, суттєвим викликом стає стабілізація реологічних характеристик пульпи перед етапом збагачення. Наявність надлишкової вільної води призводить до розшарування суміші, зниження ефективності сепарації та погіршення роботи флотаційних, гравітаційних і магнітних методів збагачення.

Очищення пульпи перед збагаченням передбачає видалення домішок (включаючи дрібнодисперсні частинки глинистих мінералів), а згущення — зниження частки вільної води для досягнення оптимальної концентрації твердої фази. Цей етап є критичним для забезпечення стійкості технологічного потоку та підтримки стабільної продуктивності подальших процесів.

Методи реалізації

Циклони зворотної дії — відокремлюють дрібні частинки та вільну воду завдяки гідродинамічним силам. Пульпа надходить під тиском і розділяється на концентрат і розріджену фракцію.

Флокулянти — високомолекулярні реагенти, що сприяють агрегації твердих частинок. Завдяки флокуляції дрібнодисперсні частки утворюють більші агрегати, які осаджуються швидше, сприяючи ефективному згущенню.

Вакуум-фільтри — дозволяють ефективно зневоднити пульпу, зберігаючи при цьому однорідність фракцій та запобігаючи механічному пошкодженню вугілля. [51]

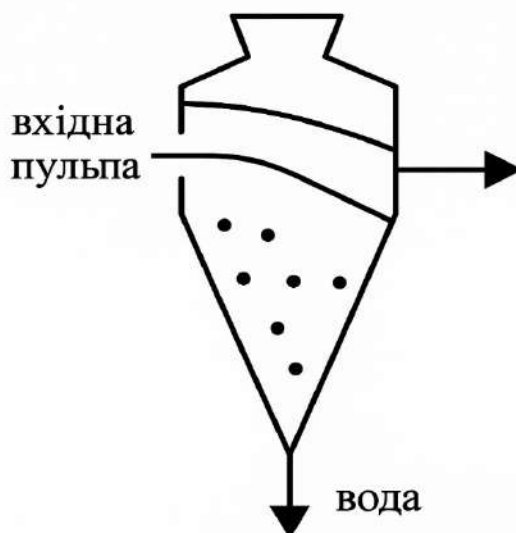


Рисунок 1 – Схема роботи циклону звогі

Рисунок 2.8 Схема роботи циклону зворотної дії

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Таблиця. 2.8

**Зміна концентрації твердої фази у пульпі до та після флокуляції
(Моделювання на основі типових умов шахти КЗ-1)**

№ п/п	Стан пульпи	Вміст твердої фази, %	Вміст вільної води, %
1	1	2	3
2	До обробки	20	80
3	Після обробки флокулянтами	45	55

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [18]

Таблиця 2.9

Порівняльна ефективність методів згущення пульпи

№ п/п	Метод	Ступінь зневоднення, %	Переваги	Обмеження
1	1	2	3	4
2	20–30	Без реагентів, швидка сепарація	Обмеження по гранулометрії	
3	25–40	Ефективна для дрібних фракцій	Вартість реагентів	
4	40–60	Висока ефективність зневоднення	Енергозатрати, обслуговування	

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Загальні переваги технології очищення і згущення пульпи:

- а) зменшення навантаження на збагачувальне обладнання;
- б) стабілізація потоку пульпи;
- в) підвищення точності розділення фракцій за густиною;
- г) зменшення витрат на флотореагенти;
- д) покращення умов для подальшої сушки або грануляції

Для шахти КЗ-1 найдоцільніше застосувати комбінований підхід, у якому пріоритет надається таким двом методам:

1 Формування вуглемасляних оболонок ("ядро–оболонка"):

- а) вугілля КЗ-1 після стадії СМА має підвищену дисперсність і значну зовнішню поверхню, схильну до гідратації;
- б) метод забезпечує довготривалий гідрофобний захист, що не руйнується при транспортуванні, включаючи можливий контакт із водою;
- в) не потребує складного обладнання — достатньо вузла тонкого розпилення масла;

г) підвищується спікливість і зменшується злежування при зберіганні
Недоліки: відносно вища вартість масляних реагентів, але їх витрати малі (0,5–1,5%).

2 Попередня сушка або дегідратація перед коксуванням:

а) після транспортування в умовах КЗ-1 (де можливе зволоження) волога перевищує технологічно допустимий рівень (10–12%);

б) шнекові преси або вакуум-сушарки дозволяють швидко зменшити вологість без втрати спікливості;

в) метод добре інтегрується у вже існуючі лінії підготовки перед коксуванням

Недоліки: додаткові енергозатрати, але вони компенсуються стабільністю якості коксу.

Менш доцільні методи для шахти КЗ-1

Інгібітори у воді:

а) вимагає стабільного дозування у гідротранспортних мережах, а це складно при змінному навантаженні КЗ-1;

б) ефективність падає при тривалому контакті з водою та при зміні хімічного складу вугілля

Очищення і згущення пульпи

а) метод доцільний лише при постійній подачі пульпи на збагачення, чого на КЗ-1 може не бути;

б) висока ефективність, але потребує серйозного технічного переоснащення

Таблиця 2.10

Загальна таблиця порівняння методів (для умов КЗ-1)

№ п/п	Метод	Ефективність захисту	Вартість впровадження	Сумісність із СМА	Складність обслуговування	Доцільність
1	1	2	3	4	5	6
2	Вуглемаляні оболонки	Висока	Середня	Висока	Низька	Рекомендовано
3	Попередня сушка	Висока	Висока	Висока	Середня	Рекомендовано
4	Інгібітори	Середня	Низька	Середня	Висока	Обмежено
5	Очищення і згущення пульпи	Висока	Висока	Низька	Висока	Малодоцільно

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [18, 19]

Для шахти КЗ-1, з огляду на особливості вугілля після СМА та умови транспортування, найкращим вибором буде поєднання вуглемаляних оболонок і попередньої сушки. Такий підхід дозволяє мінімізувати негативний вплив води, зберегти якість вугілля і стабілізувати подальші етапи технологічного процесу — особливо коксування [18, 19].

2.5 Технологічні рішення для підтримання якості вугілля під час гідротранспортування

Гідравлічне транспортування вугілля, незважаючи на свої численні переваги в умовах складного гірничо-геологічного середовища, має істотний вплив на якість палива. Основними негативними наслідками такого транспорту є підвищення вологості, розпилення, механічне руйнування та зниження теплотворної здатності. Тому актуальним є впровадження

додаткових технологічних рішень, здатних відновити або покращити вихідні властивості вугілля після транспорту.

Одним із перспективних методів є селективна масляна агрегація (СМА) — технологія, що дозволяє покращити фізико-хімічні характеристики вугілля, яке зазнало водного впливу під час гідропереміщення. Суть методу полягає в олеофільності вугільних частинок: у водному середовищі вони змочуються масляними реагентами та утворюють агрегати, що легко відокремлюються від мінеральної домішки у вигляді суспензії.

Процес коксування вугілля є важливим етапом у технологічному ланцюгу металургійних виробництв.

Одним із ключових аспектів є зниження вмісту золи, вологості та підвищення спікливості вугілля. Тому важливою задачею є покращення підготовки вихідної вугільної шихти для процесу коксування.

Вивчення вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» (КЗ-1) включає комплексне дослідження, що охоплює різноманітні методи аналізу, зокрема технічний, елементний, петрографічний, термогравіметричний, візкозиметричний аналізи, а також визначення оптичної щільності екстрактів при обробці вугілля диметилсульфоксидом. Визначено, що аномальні поєднання генетичних і технологічних властивостей цього вугілля зумовлені особливим співвідношенням масових часток і атомних відносин різних елементів в органічній масі.

Особливістю вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» є важливість його внеску в сировинну базу коксування. Вугілля цієї шахти часто використовується на українських коксохімічних заводах, де воно отримується в результаті збагачення на збагачувальних фабриках. Однак, характерні показники цього вугілля, такі як R_o , V^{daf} та u , важко прив'язати до конкретної марки вугілля згідно з чинними стандартами ДСТУ 3472-96, що обумовлено аномальними значеннями цих параметрів для традиційних марок.

Аналіз елементного складу вугілля проводиться за допомогою ряду лабораторних методів. Зокрема, виявлено, що вугілля шахти

«Красноармійська Західна № 1» характеризується пониженим вмістом вуглецю та підвищеним вмістом кисню порівняно з типово коксовим вугіллям. Для наочного представлення результатів аналізу складено таблицю

Таблиця 2.11

Елементний склад вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1

№ п/п	Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
1	1	2	3
2	Вміст вуглецю (С)	72,5%	%
3	Вміст водню (Н)	4,5%	%
4	Вміст кисню (О)	21,2%	%
5	Вміст азоту (N)	1,2%	%
6	Вміст сірки (S)	0,2%	%

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [20]

Ці дані підтверджують, що вугілля є маловідновленим, з високим вмістом кисню, що може вказувати на його перехідний характер між марками Ж та К.

Структура органічної маси.

Дослідження органічної маси вугілля здійснюється через вивчення атомних відносин елементів, таких як водень та вуглець, що є важливими показниками для визначення метаморфічного стану вугілля. Зокрема, виявлено, що атомне відношення Н/С для вугілля шахти КЗ-1 складає 0,85, що вказує на наявність значної кількості аліфатичних углеводнів, а також конденсованих ароматичних структур.

Для наочного відображення результатів можна використовувати формулу:

$$\frac{H}{C} = \frac{m_H}{m_C} \quad (2.1)$$

де: Н — маса водню;

С — маса вуглецю

Вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» характеризується специфічними технологічними властивостями, такими як спікність та температура пластичності. Ці параметри визначаються на основі термогравіметричних та візкозиметричних аналізів. Так, за результатами тестування, спікність вугілля знаходиться на межі допустимих значень для марки К, що ускладнює визначення його точного маркового статусу.

Таблиця 2.12

**Термогравіметричні та пластометричні характеристики вугілля шахти
«Красноармійська Західна № 1»**

№ п/п	Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
1	1	2	3
2	Температура максимального зниження маси	950°C	°C
3	Температура загустіння пластичної маси	550°C	°C
4	Спікність	3	балів

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням[20]

Використання технології селективної масляної агрегації для обробки вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» дозволяє значно поліпшити його фізико-хімічні властивості, що є важливим для ефективності процесу коксування. Згідно з даними досліджень, застосування СМА дає змогу знизити зольність вугілля до рівня 5,9–6,1 %, що є значним поліпшенням порівняно з початковими зразками. Цей процес також дозволяє зменшити вологість

вугілля, що підвищує стабільність шихти під час транспортування та полегшує її обробку на коксових батареях.

Особливим є використання агломерації вугілля в структурах типу II та IV, що сприяє отриманню вуглемасляних агрегатів з високою міцністю і добре зрівноваженою текстурою. Це не тільки покращує спіклівість вугілля, але й забезпечує оптимальні показники міцності коксу після коксування, зменшує пористість і підвищує вихід рідких продуктів, що є важливим для загальної ефективності коксових процесів.

Аналіз атомного відношення водню до вуглецю (H/C) вугілля шахти КЗ-1, що складає 0,85, свідчить про значну кількість аліфатичних углеводнів поряд з ароматичними структурами. Це вказує на перехідний ступінь метаморфізму вугілля, що ускладнює його віднесення до конкретної марки за стандартами. Однак, така характеристика дозволяє інтегрувати це вугілля в змішані шихти, що сприяє зниженню втрат при транспортуванні та стабілізує якість сировини на етапі подачі до коксових установок.

Отже, використання СМА в технологічних процесах з обробки вугілля шахти «Красноармійська Західна № 1» відкриває нові можливості для ефективного використання цього вугілля. Це дозволяє не тільки поліпшити якість кінцевого продукту, але й зменшити технологічні втрати, що підвищує економічну ефективність коксових виробництв.

Комплексні лабораторні дослідження цього вугілля виявили унікальне поєднання елементного складу, показників метаморфізму та технологічної поведінки. Зокрема, вугілля характеризується зниженим вмістом вуглецю (72,5 %) і підвищеним вмістом кисню (21,2 %), що вказує на його проміжне положення між марками Ж і К. Атомне відношення H/C на рівні 0,85 демонструє переважання аліфатичних ланцюгів у структурі органічної речовини. Встановлена температура пластичності (550 °C) та максимального зниження маси (950 °C), а також спіклівість у 3 бали свідчать про обмежену, але потенційно керовану коксівність.

Особливої уваги заслуговує можливість модифікації коксівних властивостей вугілля КЗ-1 за допомогою селективної масляної агрегації (СМА). Ця технологія дозволяє не лише підвищити якість вугілля шляхом видалення домішок і зменшення вологості, але й стабілізувати властивості шихти при транспортуванні. Згідно з дослідженнями, вуглемасляні агрегати, створені за певних режимів СМА (типи структур II і IV), мають підвищену міцність, покращену спікливість і сприятливу текстуру для подальшого коксування. Застосування такої підготовки особливо доцільне для вугілля з перехідними властивостями, як у випадку КЗ-1.

Таблиця 2.13

Порівняння показників вугілля КЗ-1 до і після СМА

№ п/п	Параметр	До СМА	Після СМА	Одиниці вимірювання
1	1	2	3	4
2	Зольність	11–13 %	5,9–6,1 %	%
3	Вологість	нестабільна	знижена	-
4	Атомне співвідношення Н/С	0,85	стабілізоване	-
5	Спікливість	3	зростає до 4–5*	бали
6	Температура пластичності	550 °С	незначно знижується	°С

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [20]

Результати наукових досліджень також показують, що агломероване вугілля демонструє кращі показники міцності коксу після коксування, зменшену пористість і вищий вихід рідких продуктів. Така тенденція підтверджує доцільність розширення ресурсного використання вугілля КЗ-1 не лише в традиційних схемах, а й у модернізованих технологічних процесах, зокрема при впровадженні СМА.

Таким чином, ресурсний потенціал шахти «Красноармійська Західна № 1» має високу науково-практичну цінність. Його ефективне використання можливе як у поточних технологіях коксування, так і в інноваційних підходах до підготовки шихти, що відкриває перспективи підвищення якості кінцевого продукту та зниження втрат на всіх етапах логістики. Впровадження СМА як етапу після гідравлічного транспортування забезпечує не лише збереження, але й покращення технологічних характеристик вугілля, особливо для сировини з нестабільними параметрами, як у випадку КЗ-1. Це дозволяє збільшити ресурсну цінність таких вугільних пластів і підвищити ефективність їх подальшого використання в коксохімічному виробництві. [20].

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було комплексно досліджено вплив водного середовища на властивості вугілля, а також розглянуто та проаналізовано ефективність сучасних технологічних рішень щодо транспортування та підготовки вугільної сировини до коксування. Особливу увагу приділено вугіллю шахти «Красноармійська Західна № 1», яке характеризується складним елементним складом, підвищеною вологістю, нестабільною спікливою та низьким атомним співвідношенням Н/С.

З огляду на те, що в умовах шахти КЗ-1 вугілля має підвищену вологість, нестабільну структуру та низьку спікливість, встановлено, що традиційні методи транспортування не забезпечують необхідного рівня збереження якості сировини. Гідравлічне транспортування, яке використовується через обмеженість інфраструктури та технічну доцільність, супроводжується низькою негативних ефектів, зокрема гідратацією активних центрів поверхні, зменшенням гранулометричної стабільності, підвищенням зольності та зниженням теплотдатності вугілля. Разом з тим, за умови впровадження сучасних технологій обробки пульпи та додаткових заходів захисту матеріалу, гідравлічне транспортування може бути не лише допустимим, а й ефективним з погляду економіки та екології.

Дослідження показали, що ключовим напрямом компенсації негативного водного впливу є впровадження технологій поверхневого захисту частинок. Одним із найперспективніших методів визнано створення вуглемасляних оболонок за принципом «ядро–оболонка». Застосування цього підходу дозволяє значною мірою знизити капілярне вбирання води, стабілізувати сипучість палива та зберегти фракційний склад, що є критичним при подальшому використанні вугілля у коксовому виробництві. Також доцільним є застосування етапу попередньої сушки або дегідратації, який, за даними моделювання, дозволяє зменшити вологість до рівня, допустимого для

ефективного спікання, що, у свою чергу, знижує теплові витрати на стадії коксування та підвищує вихід якісного коксу.

Особливе значення в дипломній роботі було приділено характеристикам самого вугілля шахти КЗ-1. Встановлено, що дана сировина має понижений вміст вуглецю та підвищену частку кисню, що зумовлює її нетипову поведінку в стандартних процесах підготовки. Атомне співвідношення водню до вуглецю, яке складає 0,85, свідчить про наявність значної кількості аліфатичних сполук та високої реакційної здатності, що, за відповідної обробки, може бути використано як перевага у процесах селективної масляної агрегації. Впровадження СМА дозволяє не лише стабілізувати властивості вугілля, але й значною мірою покращити його фізико-хімічні характеристики, включаючи зниження зольності, підвищення гідрофобності та покращення текстури для коксування.

Загалом, результати дослідження підтверджують, що ефективно транспортування та підготовка вугілля з нестабільними властивостями, як у випадку шахти КЗ-1, можливі лише за умови впровадження комплексного технологічного підходу. Поєднання гідравлічного транспорту з етапами селективної масляної агрегації, формування гідрофобних оболонок та попередньої дегідратації дозволяє значно знизити технологічні втрати, підвищити якість кінцевого продукту й забезпечити сталу роботу коксохімічного циклу. На підставі проведеної роботи можна стверджувати, що запропоновані технологічні рішення мають не лише наукову новизну, а й високий потенціал для впровадження у промислову практику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецький В. С., Сергєєв П. В., Папушин Ю. Л. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. Донецьк: Грань, 1996. 264 с.
2. Трофименко О. В. (ред.) Технологія переробки твердих горючих копалин. Дніпро: НГУ, 2015.
3. Білокінь В. Г. (ред.) Металургія чавуну та сталі. Частина 1. Київ: НМетАУ, 2006.
4. Кірсанов А. П., Зуєв А. Ю. Кокс і коксохімія: сучасні тенденції. М.: Металлургия, 2018. 192 с.
5. Плотніков Л. О., Дубинський Г. А. Технології транспортування вугілля. Харків: ХНУРЕ, 2018. 178 с.
6. Фізико-хімічні методи видобування корисних копалин : навч. посіб. / [О. І. Шевчук, С. А. Копейкін та ін.] ; Нац. гірн. ун-т. Дніпро : НГУ, 2015. 90 с.
7. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / ред. кол.: В. С. Білецький (голова) та ін. Донецьк : Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2001–2013.
8. Білецький В. С. Розробка наукових основ і способів селективної масляної агрегації вугілля та вуглевміщуючих продуктів: Дис. ... докт. техн. наук. Донецьк, 1994. 452 с.
9. Білецький В. С. Коксівні властивості вуглемасляних агрегатів. УглеХимический журнал. 2003. № 3–4. С. 16–28.
10. Білецький В. С., Потапенко С. Ю. До питання збереження коксівності вугілля в умовах гідротранспорту: одержання вуглемасляних структур типу "ядро – оболонка". Углехимический журнал. 2016. № 1. С. 23–25.
11. Liu H., Li X., Ma T., Li D. Experimental Study on the Mechanical Damage and Permeability of Coal under Long-Term Immersion Conditions. Energies. 2021.

12. Li Y., Gao Y., Chen X. The Changing of Micromechanical Properties of Coal Immersed in Water. *Fuel*. 2019.
13. ASTM D189-19 Standard Test Method for Conradson Carbon Residue of Petroleum Products. ASTM International, 2019.
14. ISO 18894:2006 – Hard coal – Determination of coke strength after reaction with CO₂ (CSR).
15. Електронний репозиторій Державного науково-технічного університету транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rep.dnut.edu.ua> (дата звернення: 1 червня 2025 р.). – Назва з екрана.
16. Сизоненко О. М. Гідравлічне транспортування дрібнодисперсних матеріалів / О. М. Сизоненко // Вісник Криворізького національного університету. – 2019. – № 48. – С. 57–63.
17. Спосіб селективної масляної агрегації вугілля : пат. 78945 Україна, МПК В03D 1/14 / Гавриленко Б. В., Таран О. Ю. ; заявник і патентовласник НГУ. – № u201301234 ; заявл. 01.04.2013 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
18. Han X., Wang Y., Zhang L. Influence of moisture on coking properties of coal // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 165. – P. 1152–1160.
19. Tsybulski V. Hydrophobic modification of coal surfaces using surfactants // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – Vol. 127. – P. 1–8.
20. Давидзон А. Р., Дроздник І. Д. Особенности элементного состава, структуры и свойств угля шахты «Красноармейская Западная № 1» // *УглеХимический журнал*. – 2014. – № 1. – С. 32–36.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Гончаренко Кристина Сергіївна

Автор

Науковий керівник / Експерт

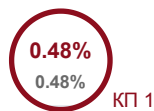
Гончаренко Кристина Сергіївна Шмельцер К.О.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

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



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

11481

Кількість слів

90679

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв	Ⓡ	3
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	Ⓡ	0
Парафрази (SmartMarks)	a	3

Подібності за списком джерел

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

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Алгоритм для аналізу та оцінювання ф'ючерських ринків 3/16/2025 National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute (National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute)	10 0.09 %
2	https://nmetau.edu.ua/file/konspekt.pdf	10 0.09 %
3	https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/3875/1/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%90.%D0%9E..pdf	8 0.07 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Гончаренко Кристина Сергіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою

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.	<i>зарах</i>	<i>1.06.25</i>	<i>Десна</i>	
2	Основна частина	Десна Н.А.	<i>зарах</i>	<i>1.06.25</i>	<i>Десна</i>	
3						
4						

Завідувач кафедри

[Handwritten Signature]

(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 2 » червня 2025 р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Гончаренко Кристини Сергіївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>78;</u>
таблиць	<u>28;</u>
схем і рисунків	<u>19;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вивчення втрати технологічних властивостей вугілля, яке тривалий час контактувало з водою.

В кваліфікаційній роботі на основі огляду літературних джерел були розглянуті причини довготривалого контакту вугілля з водою, зміни якісних показників та технологічних властивостей такого вугілля.

Проведений аналіз технологічних прийомів які дозволяють запобігти втратам якості вугілля при довготривалому контакті з водою, способів зневоднення такого вугілля та використання для коксування. Наведені данні досліджень дослідно-промислового застосування вугілля при використанні селективної масляної агломерації для спікливого вугілля марки К, при його довготривалому контакті з водою, а саме гідротранспортування.

Представлені результати аналізу технологічних властивостей вугілля і вугільних шихт за його участю, а також наведені результати коксування вугільних шихт на його основі з аналізом якості коксу.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

(бакалавра, магістра)

В роботі не проведений огляд змін хімічного складу вугілля при довготривалому контакті з водою та не надана інформація по змінах мацерального складу

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

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженню селективної масляної агломерації можна використати для збагачувальних фабрик які постачають вугільні концентрати на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра

Керівник Десна Наталя Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 2 » вересня 2025 р.

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

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Гончаренко Кристини Сергіївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вивчення змін які відбуваються з вугіллям при його довготривалому контакті з водою та шляхи запобігання втрати технологічних властивостей
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
В кваліфікаційній роботі на основі досліджених літературних джерел зроблений огляд технологічних ситуацій які призводять до тривалого контакту вугілля з водою, проаналізовані зміни якісних показників і технологічних характеристик такого вугілля та запропонована технологія запобігання негативного впливу води на якість вугілля
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Не проаналізовано зміни вугілля з погляду хімічної реакції та структурних змін.
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент <u>Шевельєва Катерина Олександрівна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

[Підпис]
(підпис)

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

Текст (вибрати необхідне):

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

Вивчення змін властивостей вугілля після тривалої взаємодії з водою

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Гончаренко Кристина Сергіївна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 78 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 0,48 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Керівник підрозділу



(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

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

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

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

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

13.06.2025



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

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

02.06.2025



К. Гончаренко