

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

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

**Пісної Вікторії В`ячеславівни**

на тему Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні добавки відпрацьованої прокатної окалини

за матеріалами КХВ ПАТ « АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий керівник

к.т.н.



Шмельцер К.О.

(підпис)

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 14.01.2025 р. № 8

Завідувач кафедри



(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Завідувач кафедри **Хімічних технологій та інженерії**  
 \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н.  
 Шмельцер К.О.  
 (підпис) (посада, вчене звання, прізвище ініціали)  
 « 15 » січня 2025 року

### ЗАВДАННЯ

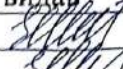

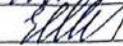

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пісній Вікторії В`ячеславівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні добавки відпрацьованої прокатної окалини керівник кваліфікаційної роботи магістра Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
 затверджені наказом вищого навчального закладу №796-ст від «21» листопада 2024 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2025 р.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Техніко-економічні показники роботи вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АМКР»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
  - 4.1 Аналітична частина: Огляд основних методів підвищення насипної щільності вугільної шихти. Добавки органічних речовин до шихти. Актуальні аспекти та досвід впровадження технології коксування вугільних шихт з органічними добавками та техногенними відходами. Характеристика окалини і відпрацьованих масел прокатного виробництва. Огляд способів утилізації прокатної окалини і відпрацьованих масел
  - 4.2 Основна частина: Вибір і обґрунтування технології утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту. Розробка методу комплексної переробки замасленої прокатної окалини. Вплив добавки замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел на показники якості коксу. Технологічна схема утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту. Укрупнені розрахунки економічної ефективності запропонованих технологічних рішень.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
 Завданням графічний матеріал не передбачений

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Шмельцер К.О., зав.каф.		
2 Основна частина	Шмельцер К.О., зав.каф.		

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач

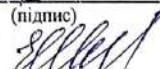


(підпис)

Пісна В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи



(підпис)

Шмельцер К.О.

(прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Пісна В.В. Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні добавки відпрацьованої прокатної окалини. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методу комплексної переробки замасленої прокатної окалини з метою утилізації відходів та забезпечення якості коксу, що задовольняє вимоги сучасної доменної плавки.

На підставі аналізу стану сформованої сучасної вугільної сировинної бази коксування, встановлено, що відчувається дефіцит добре спікливого жирного та коксового вугілля, зростає частка дорогої імпоротної сировини, шихти для коксування є багатокомпонентними. В таких умовах для отримання високоякісного металургійного коксу та здешевлення вугільної сировини необхідно використовувати спеціальні технологічні прийоми підготовки вугілля.

Розглянуті основні технологічні прийоми (трамбування, термічна підготовка та внесення органічних добавок) для розширення сировинної бази коксування, підвищення насипної щільності вугільної шихти та поліпшення її спікливості, коксівності, збільшення продуктивності коксових печей та покращення фізико-механічних показників якості коксу.

Встановлено, що перспективним напрямком модифікації властивостей вугільної шихти та металургійних характеристик коксу є внесення в якість компонента вугільної суміші органічних добавок.

В кваліфікаційній роботі на основі досліджених літературних джерел та аналізу даних лабораторних та дослідно-промислових випробувань запропоновано технологію утилізації замасленої прокатної окалини в суміші з відпрацьованими маслами прокатного виробництва.

Встановлено, що введення прокатної окалини в кількості 0,5% сприяє поліпшенню показників міцності коксу ( $M_{25}$  зростає на 0,5%,  $M_{10}$  зменшується на 0,3%).

Доведено, що запропонована технологія – екологічно безпечний спосіб переробки вуглецевмісних відходів та використання їх в якості модифікуючих добавок до сировини для виробництва матеріалів з поліпшеними фізико-хімічними властивостями.

Надано рекомендації щодо кількісних характеристик та параметрів процесу внесення зазначених відходів у вугільні суміші.

*Ключові слова:* вугілля, шихта, кокс, відходи, внесення добавок у шихту, дробимість, стиранність.

## ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Огляд основних методів підвищення насипної щільності вугільної шихти	11
1.1.1 Термічна підготовка вугілля перед коксуванням	12
1.1.2 Трамбування вугільного завантаження	13
1.1.3 Ущільнення шихти брикетуванням	15
1.1.4 Добавки органічних речовин до шихти	17
1.2 Актуальні аспекти та досвід впровадження технології коксування вугільних шихт з органічними добавками та техногенними відходами	20
1.3 Характеристика окалини і відпрацьованих масел прокатного виробництва	30
1.4 Огляд способів утилізації прокатної окалини і відпрацьованих масел	34
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	37
2.1 Вибір і обґрунтування вибору технології утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту	37
2.2 Розробка методу комплексної переробки замасленої прокатної окалини	39
2.3 Вплив замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел на якість вугільної шихти	42
2.4 Вплив добавки замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел на показники якості коксу $M_{25}$ і $M_{10}$	43
2.5 Технологічна схема утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту	48
2.6 Розрахунок продуктивності вуглепідготовчого цеху і кількості необхідного устаткування	52

2.7 Економічна ефективність запропонованого методу комплексної переробки відпрацьованої прокатної окалини	58
2.8 Аналіз екологічних аспектів технології утилізації прокатної окалини у вугільну шихту	63
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

## ВСТУП

Зниження видобутку добре спіклого вугілля та збільшення в структурі видобутку частки слабоспіклого газового вугілля обумовило актуальність задачі підвищення спікливості та коксівності вугільних шихт коксохімічних підприємств.

Вирішенням цієї задачі є застосування спеціальних технологічних прийомів підготовки вугільної сировини (сушка, термічна підготовка, трамбування, брикетування, модифікація властивостей при використанні добавок).

Коксохімічна промисловість має значний досвід використання органічних речовин в шихтах для коксування. З цією метою використовують речовини нафтового та коксохімічного виробництва: мазут, керосин, бітуми, залишки високотемпературних процесів, кам'яновугільну смолу, пек, відходи виробництва.

Широка гама органічних добавок характеризується різним їх агрегатним станом: тверді, пластичні, рідинні речовини. Це обумовлює різну технологію їх присадки до вугільної сировини.

Рідинні органічні добавки діють на поверхневі властивості волого вугілля, збільшують насипну щільність шихти, підвищують продуктивність коксових печей та дозволяють підтримувати сталість щільності вугільного завантаження для стабілізації фізико-механічних властивостей коксу.

Актуальним залишається добавка органічних техногенних відходів. Використовуючи відходи, знижуючи споживання природних ресурсів і шкідливий вплив сховищ відходів на навколишнє середовище, можна вирішити велике коло екологічних, економічних і соціальних проблем.

Утилізація способом присадки до основної сировини, приводить до одержання з них речовин, аналогічних продуктам коксування, що дозволяє трохи збільшити вихід основних коксохімічних продуктів (коксу, смоли, газу)

у результаті замикання в технологічний цикл втрат сировини у вигляді відходів.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Огляд основних методів підвищення насипної щільності вугільної шихти

Насипна щільність вугілля – це кількість вугілля в одиниці об'єму штабеля, бункера, коксової камери. Важливість насипної щільності полягає в тому, що вона впливає на якість коксу, продуктивність коксових печей, місткість відкритих і закритих вугільних складів, кількість вугілля у вагонах. Насипна щільність робочої вугільної шихти вологістю 9 – 10% становить приблизно 820 кг/м<sup>3</sup>.

Насипна маса залежить від багатьох факторів і насамперед від вмісту вологи, тому що її кількість впливає на укладання зерен, їхню рухливість. Зниження вологості шихти підвищує насипну щільність шихти, у результаті збільшується величина завантаження коксових камер і підвищується їхня продуктивність, поліпшуються показники міцності коксу, тому що поліпшується кількість і щільність контактів вугільних зерен.

Важливим фактором, що впливає на насипну щільність, є помел. З підвищенням ступеня подрібнювання насипна щільність зменшується. Однак, зниження помелу негативно позначається на механічній міцності коксу й із цієї причини для кожної конкретної умови має місце оптимальна величина помелу шихти.

Існують і інші фактори підвищення насипної щільності шихти: гранулювання, введення органічних добавок, брикетування, механічне ущільнення.

Брикетування й трамбування вугільної шихти спрямовані на ущільнення її, тобто на поліпшення контакту між зернами, що підвищує насипну щільність і сприяє поліпшенню спікливості.

Добавка органічних речовин зменшує зчеплення між частками вугілля, поліпшує їхню рухливість і щільність укладання. Введення у вугільну шихту

органічних добавок забезпечує підвищення насипної щільності й поліпшення спікливості [1-3].

### **1.1.1 Термічна підготовка вугілля перед коксуванням**

Термічна підготовка вугілля перед коксуванням полягає в нагріванні їх до режимної температури й має на меті зменшити вологість вугільної шихти до певного оптимального рівня (сушіння) або видалити практично повністю зовнішню вологу вугілля, завантажуючи при цьому нагріту вугільну шихту в коксові печі. Коксування термічно підготовленої вугільної шихти має наступні переваги:

- поліпшується якість коксу (міцність, рівномірність по крупності);
- розширюється сировинна база коксування за рахунок збільшення в шихті частки слабоспікливого й газового вугілля;
- збільшується продуктивність коксових печей на 25-40 %;
- зменшується кількість стічних вод.

Вплив термічної підготовки на процес коксування вугілля є складним і в основному проявляється в наступному: при зменшенні вологості вугілля збільшується насипна щільність завантаження в камері коксування. Це приводить до того, що спікливість вугільного завантаження підвищується за рахунок підвищення щільності поверхневого контакту зерен вугілля, збільшується швидкість нагрівання в стадіях до переходу в напівкокс; зменшується тріщинуватість коксу за рахунок зниження перепаду температур у завантаженні й зменшення градієнта швидкостей усадки суміжних шарів напівкоксу, є тенденція до зниження сірчистості коксу. При термічній підготовці розширюється температурний інтервал пластичності вугілля, і температура максимального розм'якшення зрушується в область більше високих значень [1-3].

Позитивний вплив попередньої термічної підготовки на якість коксу тим більше, чим менше спікливість шихти й більше вихід летучих з її. На

технологічні властивості вугільного завантаження вказують вплив також умови її термічної підготовки: швидкість нагрівання, вміст кисню в газовому теплоносії, вид теплоносія (газоподібний, твердий), вид контакту (безпосередній або через стінку, що гріє) і ін.

Термічна підготовка вугільної шихти газовим теплоносієм має ряд недоліків, головними з яких є великий обсяг теплоносія, що призводить до збільшення обсягів устаткування, енерго- і капіталоемність, вибухонебезпечність [4-6].

### **1.1.2 Трамбування вугільного завантаження**

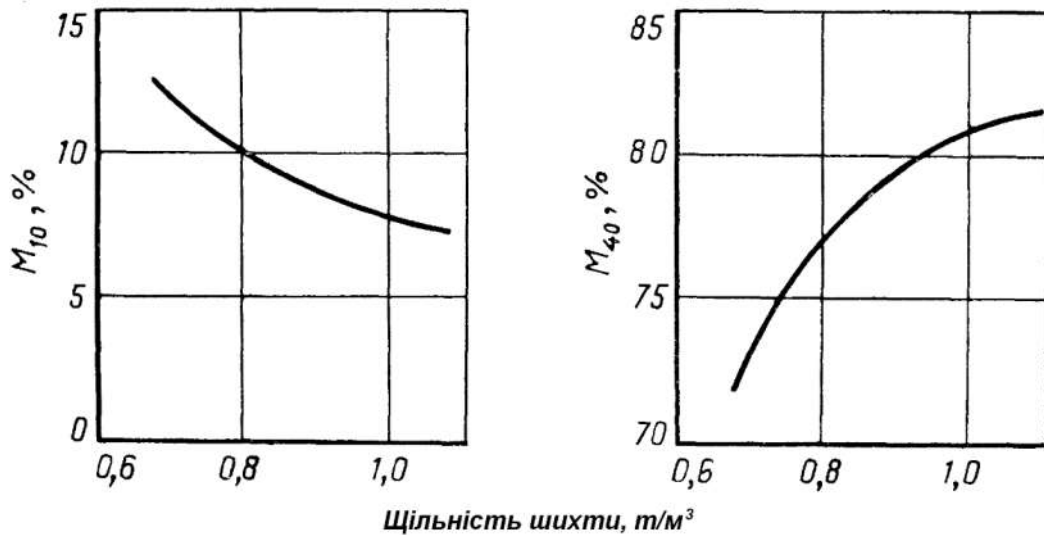
Одним зі способів ущільнення вугільної шихти перед коксуванням, що забезпечують економію добре спікливого вугілля при збереженні й навіть поліпшенні якості коксу й підвищенні техніко-економічних показників його виробництва, є трамбування.

При трамбуванні тонко здрібнену шихту ущільнюють у спеціальному пристрої поза коксовою піччю за допомогою падаючих молотків. Ущільнення шихти можливо також попереднім брикетуванням частини шихти у двухвалкових пресах без сполучного або зі сполучним з наступним гравітаційним завантаженням брикетів (одних або в суміші із частиною, що залишилася, здрібненої шихти) у камери коксування.

Основними передумовами збільшення кількості слабоспікливого вугілля у шихті для коксування при її попереднім ущільненні є поліпшення спікливості шихти і якості одержуваного коксу при підвищенні щільності шихти. Зі збільшенням щільності шихти зростає міцність кусків і матеріалу коксу (рис. 1.1).

При ущільненні шихти трамбуванням можна підвищити її щільність до 1,05-1,15 т/м<sup>3</sup>. Внаслідок скорочення відстаней між вугільними зернами в ущільненому вугільному пирозі при коксуванні потрібне менша кількість

рідкої фази й досягається більша міцність структури коксу. Це обумовлює можливість використання шихт зниженої спікливості.



**Рис.1.1. Залежність міцності коксу при випробуванні його в малому барабані від щільності шихти**

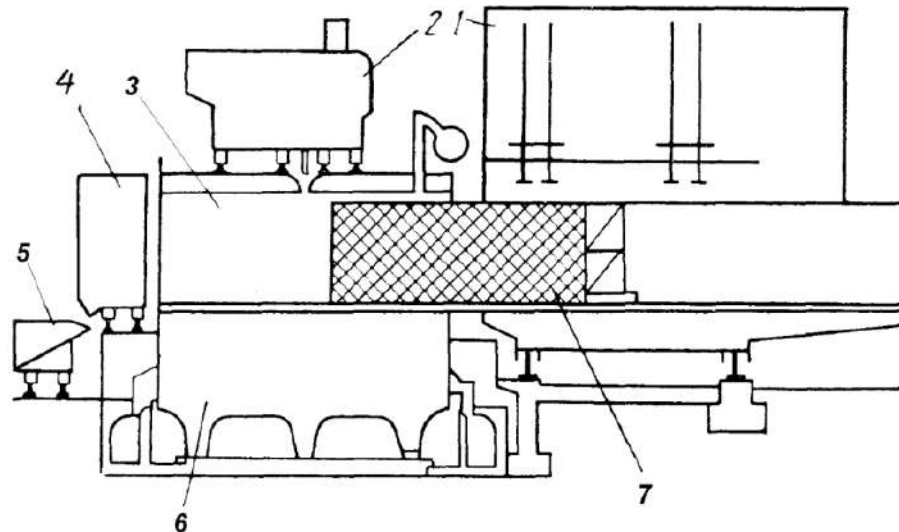
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [4-6]

Коксування трамбованих шихт застосовується в промисловому масштабі на ряді коксохімічних заводів у Німеччині, Франції й інших країнах, забезпечуючи одержання доменного коксу із шихт зі значним вмістом слабоспікливого вугілля. Трамбування вугільної шихти дозволяє збільшити ступінь подрібнення шихти без зниження продуктивності коксових печей і погіршення умов праці і їхньої експлуатації.

Технологія коксування трамбованих шихт полягає в тім, що вугільна шихта подається з вугільних веж, які перебувають із машинної сторони коксової батареї, у бункер ущільнюючої, завантажувальної й коксовиштовхувальної машини (рис.1.2). У спеціальній формі, що відповідає формі й розмірам камери коксування, протягом 3 хвилин відбувається ущільнення вугільного завантаження, і утворюється вугільний пиріг. Готовий

вугільний пиріг направляєється на піддоні в камеру коксування, піддон потім висувається на місце, у форму, і двері камери закриваються.

13



1 - трамбувальна машина; 2 - вагон для очищення газів; 3 - коксова піч; 4 - коксонапрямна; 5 - гасильний вагон; 6 - регенератор;  
7 - вугільний пиріг

**Рис. 1.2. Схема коксування трамбованої шихти  
(момент подачі вугільного пирога в камеру)**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [4-6]

Відсмоктування газів, що утворяться в момент завантаження вугільного пирога в камеру коксування, здійснюється за допомогою пристрою для очищення газів завантаження, встановленого на вагоні. Вагон переміщається по верху батареї, і гази відсмоктуються через отвори у зводі печі [1-3, 5].

### **1.1.3 Ущільнення шихти брикетуванням**

Ущільнення шихти брикетуванням може здійснюватися брикетуванням всієї шихти зі сполучної або без нього або брикетуванням частини шихти зі слабоспівливими й неспівливими компонентами.



Для брикетування застосовують двухвалкові преси продуктивністю 30-100 т/год. Розмір отриманих брикетів 44x44x26 мм. Для зміцнення брикетів їх охолоджують на колосниковому конвеєрі, на якому одночасно здійснюється відсівання розбитих брикетів, що направляються знову в змішувач.

Брикети й частина, що залишилася (70%) подрібненої шихти надходять в окремі секції вугільної вежі. У процесі вивантаження їх з вугільної вежі в заданому співвідношенні на стрічкові живильники й при наступному транспортуванні в вуглезавантажувальний вагон шихта й брикети перемішуються [1-3, 5].

#### **1.1.4 Добавки органічних речовин до шихти**

При внесенні в шихту для коксування оптимальних по якості добавок органічних речовин, звичайно пеків або масел (при відповідній їхній витраті), можна підвищити спікливість вугілля і шихт. Механізм дії органічних добавок може бути, загалом, представлений у наступному виді. При нагріванні вуглемасляної суміші до температур, при яких ще не починається термічне розкладання вугілля, добавки розподіляються по поверхні вугільних зерен і частково адсорбуються ними. У період пластичного стану молекули добавки проникають у міжмолекулярний простір речовини й сприяють підвищенню макромолекулярної рухливості по механізму зовнішньої пластифікації. Одночасно добавки беруть участь у реакціях водневого перерозподілу, у результаті якого перенос водню добавок до реагуючих молекул (радикалів) вугілля приведе до стабілізації й, як наслідок, збільшенню кількості речовини із середньою молекулярною масою, що утворять рідку фазу пластичної маси. Крім того, наявність речовини добавки підвищує концентрацію в пластичній масі жидкорухливих продуктів. У результаті зростає кількість, плинність і термостабільність пластичної маси, поліпшуються умови формування пластичного контакту залишкової речовини вугільних зерен і зародження нової

проміжної фази (мезофази), з якої зв'язують розвиток упорядкованої вуглецевої структури напівкоксу-коксу.

Основним фактором впливу добавок вважають їхній хімічний склад (при постійній витраті добавок). Встановлено, що парафінові вуглеводні практично не впливають на коксівність вугілля, а речовини, до складу яких входить кисень погіршують коксівність шихт. Азот і азотовмісні сполуки не сприяють підвищенню властивостей вугілля. У той же час висококондесовані речовини типу асфальтенів, які в більших кількостях містяться в кам'яновугільному пеку й важких залишках переробки нафти, поліпшують коксівність. Ефективність дії добавок залежить також від спікливих властивостей вугілля. Введення добавок до вугілля, що характеризуються достатньою спікливістю (Ж, К, КЖ) не приводить до якого-небудь помітного позитивного ефекту. Для вугілля низької спікливості (Г, ПС, СС) і неспікливих (Т, Д) дія добавки досить відчутна.

Доцільним може бути введення добавки у вугільні шихти з виходом летучих речовин не більше 25-26% і товщиною пластичного шару не вище 12-14 мм. Кількість добавки не повинна перевищувати 10% при оптимальній кількості звичайно 4-5%. Конкретне завдання вибору добавки вирішується, як правило, шляхом безпосереднього визначення.

Більша частина відходів і побічних продуктів при додаванні у вугільну шихту приводить до збільшення насипної щільності шихти. Залежно від сполуки й кількості добавки, рівня подрібнювання шихти насипна щільність її збільшується на 2,5 - 9,0%.

Збільшення насипної маси, стабілізація властивостей вугільної шихти, а також поліпшення якості одержуваного коксу відзначається при добавці різних нафтових продуктів. Збільшення величини разового завантаження камер коксування для різних підприємств при обробці шихти гасом або іншими органічними рідинами становить від 3,8 до 5,6%.

Для одержання високої й стійкої ефективності застосування добавок необхідно дотримувати наступних технічних вимог:

- суворе дозування кількості масел, що додаються;
- досить тісне змішування масла, що додається, з вугільною шихтою;
- постійний контроль насипної щільності вугільної суміші, тому що кількість масла повинна змінюватися відповідно до зміни вологості й ступеня подрібнювання вугілля.

Прагнення до поліпшення якості коксу в ряді випадків викликає необхідність більше тонкого подрібнювання вугільної шихти, що призводить до зменшення насипної щільності. Враховуючи, що збільшення насипної щільності добавками масел досить ефективно при тонкому подрібнюванні, то застосування цього методу для вугільних сумішей дає можливість зберегти високе завантаження печей.

Зі збільшенням вологості шихти, насипна щільність її знижується, досягаючи при певній вологості мінімального значення. Збільшення насипної щільності вугільної шихти з додаванням органічних добавок, навпаки, підвищується з ростом її вологості, досягаючи її максимуму приблизно при вологості, що відповідає мінімальним значенням насипної щільності вугільної шихти. Звідси виходить, що найбільшої ефективності можна досягти тоді, коли вологість шихт буде перебувати в межах, що відповідають мінімальним значенням насипної щільності без добавок.

Додаванням продуктів розгону сирого бензолу підвищують насипну масу вугільної шихти на 9 - 12%. Тонке розпилення антраценового масла збільшує ефект росту насипної щільності й приблизно вдвічі зменшує витрату реагенту.

Додавання сумішей антраценового масла з гасом, бензолом, бензином, сольвент-нафтой дає більший ріст насипної щільності, чим нерозбавленої антраценове масло, і викликає зменшення кількості оптимальної добавки реагенту.

Ряд вторинних матеріалів, що вводяться в шихту, можна подавати в шихту у вигляді різних сумішей з іншими матеріалами після здійснення

нейтралізації або спеціальної підготовки. Вплив внесених добавок у шихту на вихід і якість одержуваного коксу визначається взаємодією добавок з компонентами вугілля, яке підлягає коксуванню, у процесі термохімічних перетворень, а також здатністю добавок до утворення коксового залишку.

Останнім часом все більша увага приділяється питанням використання масловмісних відходів прокатного виробництва як органічної добавки до вугільних шихт при одержанні коксу.

## **1.2 Актуальні аспекти та досвід впровадження технології коксування вугільних шихт з органічними добавками та техногенними відходами**

У новому тисячолітті гостро визначилася необхідність визначення стратегії світового розвитку на тривалий проміжок часу, що припускає ресурсо-екологічний підхід до розвитку економіки. На першому плані постають питання заощадження енергії й матеріалів.

Використовуючи відходи, знижуючи споживання природних ресурсів і шкідливий вплив сховищ відходів на навколишнє середовище, можна вирішити велике коло економічних, екологічних і соціальних проблем. Найбільш ефективним є використання на підприємстві власних відходів виробництва – так званий «рециклінг».

Завдання полягає не тільки в утилізації відходів, але й у створенні нових, модифікованих коксохімічними відходами або на базі відходів матеріалів з поліпшеними властивостями. Виходячи із складу, властивостей, обсягів техногенних відходів коксохімічного й іншого виробництв можна запропонувати три основних напрямки рішення проблеми: у шихті для коксування, у дорожнім будівництві, у комплексній технології при створенні нових, перспективних матеріалів.

З існуючих технологічних схем утилізації найбільш кваліфікованим і перспективним способом є піроліз, коли повною мірою вирішується проблема

ресурсозбереження (процес не вимагає витрати кисню, дозволяє використовувати енерготехнологічний потенціал відходів).

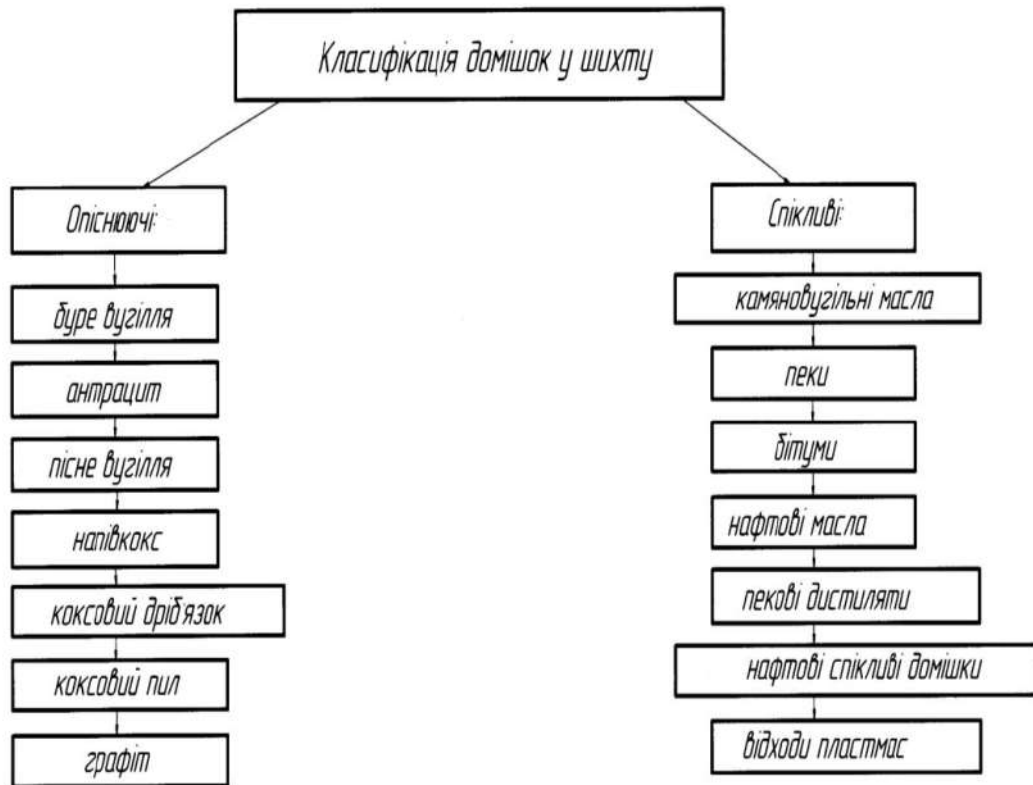
Коксохімічна промисловість має можливість здійснити раціональний і екологічно безпечний спосіб переробки вуглецевовмісних відходів. Це піроліз у коксових печах з метою поліпшення якості й збільшення виходу коксу разом з техногенними відходами й утилізація відходів від переробки хімічних продуктів коксування – їхнє використання як модифікуючих добавок до сировини для виробництва матеріалів з поліпшеними фізико-хімічними властивостями.

Як зазначалося вище, в умовах дефіциту якісного добреспіктивного вугілля відбувається зростання інтересу до внесення різних добавок у склад шихти.

Добавки можна розділити на декілька груп: неорганічні [3-6]; опіснюючі: антрацит, коксовий дрібняк [7,8]; органічні: рідкі та тверді відходи/відпрацьовані рідини нафтопереробної та нафтохімічної (кислі гудрони, відпрацьовані масла) і вуглепереробних промисловостей (кисла смолка, фуси, полімери, важкі фракції процесів «зрідження» вугілля) [6-9]. Класифікація добавок представлена на рисунку 1.1.

Так, в огляді [8] наведені дані, що при введенні мінералів (каолін, кварц, плагіоклаз, ортоклаз, мусковіт, боксит, рутил, апатит, гіпс, оксиди алюмінію і магнію, вапно, пірит, сидерит, гематит, магнетит і сірка) до шихти вміст ізотропних і тонкомозаїчних структур в коксі помітно зростає в залежності від вмісту оксидів заліза в золі вугілля. По дії на показники CSR та CRI мінерали поділяють на ті, що зберігають або покращують ці показники і ті, які істотно знижують CSR.

До перших відносять апатит, плагіоклаз, ортоклаз, мусковіт, оксид алюмінію, каолін і кварц. До добавок, що погіршують ці властивості коксу, тобто підвищують реакційну здатність і знижують міцність коксу після реакції віднесені пірит, сидерит, гематит, боксит, кальцит, гіпс, вапно і магnezія. Все це відноситься до добавок в кількості 1 %.



**Рис.1.4. Класифікація домішок**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6-9]



**Рис. 1.5. Класифікація спикливих органічних домішок**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

За даними авторів роботи [6-9], добавка тонкоподрібнених коксового дрібняку і антрациту збільшує міцність коксу і вихід його крупних класів внаслідок зменшення усадки. При завантаженні коксових печей вологою шихтою добавка коксового дрібняку дозволяє збільшити  $M_{40}$  і вихід крупних класів коксу без погіршення  $M_{10}$ . Отже, це може представляти практичний інтерес для поліпшення зазначених характеристик або для зниження вартості шихти. Однак неможливо зменшити при цьому пайову участь коксового вугілля, тому що таке скорочення призвело б до підвищення  $M_{10}$ . Отже, необхідно зазначити, що використання коксового дрібняку, в цих умовах, представляє лише теоретичний інтерес і не може бути рекомендовано виробникам [9].

Широкий спектр органічних добавок характеризується різним їх агрегатним станом (тверді та рідинні речовини), що обумовлює різні способи їх внесення до шихти. Тверді відходи доцільно подавати в шихту разом з фусами [6]. Рідинні смолисті відходи можна подавати індивідуально у вигляді водно-смоляної емульсії [7]. Рідинні добавки (відпрацьовані масла, гас, мазут) діють на поверхневі властивості вугілля, збільшують насипну щільність

шихти та продуктивність коксових печей. Добавки смол, полімерів, нафтового та кам'яновугільного пеків, важких фракції «термозрідження» вугілля збільшують кількість пластичної фази, розширюють температурний інтервал пластичності вугілля, за рахунок хімічної взаємодії з продуктами деструкції органічної маси вугілля поліпшують властивості пластичної маси, збільшуючи спікливість, і, як наслідок, поліпшують структуру і фізико-хімічні властивості коксу [8,9].

У більшості вищенаведених випадків внесення добавок відходів у шихту пов'язане з необхідністю їх утилізації без зниження якісних показників коксу та хімічних продуктів коксування [10].

Частина добавок використовується з метою покращення якості пластичного стану. Особливий інтерес представляють мезогенні добавки, здатні утворювати рідкокристалічні структури (мезофазу), які є зародками впорядкованої структури і відіграють важливу роль у процесі спікання та формування міцної структури коксу. Структура і властивості коксу залежать від кількості та властивостей мезофази, яка утворюється. Мезогенні добавки, як правило, містять сполуки з молекулярною масою від 400 до 900 а.о.м. Разом з нелеткими сполуками, які утворилися в результаті термодеструкції органічної маси вугілля, вони утворюють пласкі графітоподібні молекули, здатні до просторової орієнтації. Саме виникнення просторового упорядкування в напівкоксі значно впливає на його фізико-хімічні властивості, і, як результат, поліпшує здатність до упорядкування структури на стадії утворення коксу. Також можливим є використання добавок, що об'єднує першу та одну з двох інших цілей використання добавок (утилізація відходів + покращення якості пластичного стану або утилізація відходів + покращення спікання шихти).

Добавки до вугільних шихт масел, смоли або пеків збільшують кількість рідинної фази, подовжують період пластичного стану, збільшують однорідність та термостабільність пластичної маси, зменшують її

газопроникність, тим самим впливають на хімізм процесів, які протікають в пластичному стані, що сприяє отриманню коксу з ущільненою структурою.

При досягненні температур, при яких починається реакція деструкції органічної маси вугілля, добавка вступає у безпосередню взаємодію з вугіллям та продуктами деструкції. В цей момент виникає не тільки фізична, а й хімічна дія добавки, в результаті чого змінюються якісні показники пластичної маси, яка утворюється. Органічні добавки при цьому дозволяють цілеспрямовано впливати на характер формування пластичної маси.

Температурні границі інтервалів пластичності газового та піснувато спікливого вугілля значно відрізняються. При температурі утворення напівкоксу з газового вугілля піснувато спікливе вугілля тільки починає утворювати пластичну масу, відповідно при коксуванні зазначеного вугілля у складу вугільної шихти створюються несприятливі умови спікання. Органічна добавка наближає температурні інтервали пластичності, зсуваючи у газового вугілля в зону більш високих температур. Це створює сприятливі умови для утворення однорідної пластичної маси, що призводить до утворення механічно міцного коксу.

Поєднанням першого і другого вищезазначених напрямків використання додатків до шихти можна вважати дослідження [11,12], в яких вивчався вплив введення різної кількості побічного продукту прямого зрідження вугілля (DCL) при коксуванні з бітумінозним вугіллям на властивості металургійного коксу. У [13] показано, що внесення зазначеної добавки в кількості 3% знижує собівартість сировини, розширює асортимент продукції, позитивно впливає структуру коксу, що призводить до покращення холодної міцності коксу на 2,14%, зменшення реакційної здатності та збільшення післяреакційної міцності на 1,97%. Відходи прямого зрідження вугілля містять, важкі оливні фракції, смоли та асфальтени і характеризуються високою спікливістю за показником G (Caking Index), який становить 68, та товщиною пластичного шару ( $y=36$  мм). Ці відходи мають температуру розм'якшення  $200^{\circ}\text{C}$ , тому при використанні у вугільній шихті для коксування дозволяють розширити

температурний інтервал пластичності та змістити його в область нижчих температур на 50 °С. За рахунок цього можуть використовуватись в якості спіктивного компонента вугільної суміші при коксуванні, що дозволить розширити сировинну базу коксування, економити добреспіктиве вугілля, знизити вартість вугільних шихт. При коксуванні зазначена добавка забезпечує утворення великої кількості термічно стабільних рідинних продуктів, які взаємодіють з інертними компонентами вугільної шихти, тим самим поліпшуючи спіктивність системи в цілому, та зменшує реакційну поверхню, обумовлюючи зростання післяреакційної міцності коксу CSR [9].

Номура і Като [1] досліджували вплив добавок поліетилену та полістиролу на тиск коксування і встановили, що розмір використаних пластикових добавок впливає на тиск коксування по-різному.

Додавання великих кусків пластику не впливає на тиск коксування, але додавання поліетиленового порошку збільшує внутрішній тиск газу і тиск коксування.

Machoney та ін. [2,3] пояснили збільшення тиску коксування накопиченням парів та газів і запропонували регулювати його шляхом додавання до небезпечного вугілля з високим вмістом летких речовин, напівантрацитів або коксового дріб'язку. Ці добавки могли б збільшити проникність пластичного шару і зменшити тиск коксування тиск коксування.

Навпаки, Фернандес та ін. [4] стверджують, що добавки низько летючого вугілля (яке фактично використовується в технології вдування пиловугільного палива) знижували тиск коксування і не погіршували якість коксу Меленді та ін. [5] припустили, що добавки побутових відходів до шихти впливали на тиск коксування в залежності від вмісту поліолефінів у відходах. Більша кількість олефінів (5-10 мас. %) знижувала тиск коксування, оскільки олефіни змінювали перебіг процесу піролізу, збільшували спучування розплавленої маси, підвищували тріщинуватість і проникність нафтових компонентів, але негативно впливали на тиск коксування [6].

Вега та ін. [7], пояснюючи вплив добавок високотемпературного кам'яновугільного дьогтю на якість коксу, довели, що добавок високотемпературної кам'яновугільної смоли та кам'яновугільного шламу на величину тиску коксування окисленого вугілля, що добавки спричиняють підвищення тиску коксування для низьколеткого вугілля.

У роботі [14] представлені результати досліджень з утилізації прострочених лікарських препаратів (парацетамол, напроксен) в якості модифікуючої добавки до вугілля високого ступеня метаморфізму. Встановлено, що добавки у кількості 2% мас. впливають на поведінку вугілля із вмістом летких 22 % при його піролізі наступним чином: активно взаємодіють з органічною частиною вугілля при температурі вище 150 °С (в передпластичному та пластичному станах), впливають на особливості його термічної поведінки, властивості та склад пластичної маси, сприяють збільшенню товщини пластичного шару, за рахунок пластифікуючої дії розширюють температурний інтервал в'язко-пластичного стану вугілля, модифікують склад летких продуктів піролізу, зменшуючи співвідношення насичених та ненасичених вуглеводнів, внаслідок впливу на перебіг вторинних термохімічних взаємодій між ними обумовлюють поліпшення спікливості органічної маси. Так, добавка напроксену обумовила збільшення об'єму вугільного завантаження 1,2 рази при нагріванні за рахунок його спучення. Парацетамол навпаки знижував об'єм завантаження в 1,4 рази, внаслідок взаємодії з продуктами деструкції органічної маси вугілля з утворенням високомолекулярних сполук, що призводило до зменшення тиску всередині вугільних зерен на стадії їх спучення. Тобто, добавка простроченого парацетамолу також може використовуватися для зниження небезпечного чинника тиску розпирання вугілля.

Автори досліджень [15] наводять результати з утилізації відпрацьованих іонообмінних смол в якості компонента вугільних шихт для виробництва металургійного коксу. Показано, що, крім вирішення питання утилізації відпрацьованих іонообмінних смол, їх додавання до вугільних шихт в

кількості не більше 5 % може підвищити «холодну» механічну міцність коксу. При коксуванні вугільної шихти з добавкою відходів частина летких речовин вивільняється з відпрацьованих смол в діапазоні більш низьких температур у порівнянні з леткими речовинами вугільної сировини. При оптимальній кількості добавки відходів в шихті частина газів, які утворюються при піролізі, проникають в коксову матрицю та конденсуються в структурі пористого коксу, яка формується. Мікроскопічні дослідження показали, що залишок, який утворюється при піролізі відпрацьованих смол, зберігає сферичну форму і вбудовується в структуру коксу. Це призводить до зменшення пористості коксу, зміцненню структури коксу і, відповідно, до зростання його «холодної» механічної міцності. При цьому кокс, отриманий з вугільної шихти з часткою відпрацьованих іонообмінних смол 1-3%, має більш впорядковану структуру, ніж кокс з вугільної шихти без будь-яких добавок. Але необхідно зауважити, що відпрацьовані іонообмінні смоли проявляють себе як опіснюючий компонент, тому для досягнення поліпшення якості коксу компонентний склад вугільної шихти повинен ретельно підбиратися.

Одним з напрямків отримання додатків до вугільної шихти є екстракція та різноманітні її варіації й підвиди [14]. Технологія екстракції вугілля розчинниками використовувалась з метою одержання:

- екологічно «чистого» твердого палива з вугілля з низьким вмістом золи та низьким вмістом сірки для використання в котлах для виробництва електроенергії;
- бітумного в'язучого матеріалу для виготовлення брикетів і вуглецевих блоків;
- вуглецю з дуже низьким вмістом золи для виготовлення електродів;
- коксівної добавки у вугільні шихти для виготовлення коксу покращеної якості.

Згідно запропонованої в роботі [7] технологічної схеми попередньо збагачене вугілля підлягає екстракції, в якій в якості розчинника

використовується антраценова олива з температурою кипіння 270-360 °С. Процес екстракції протікав при температурі 400°C та тиску 10 МПа, протягом 1 години при співвідношенні вугілля та розчинника від 1:2 до 1:3. Основна кількість реакційноздатних органічних компонентів вугілля (вітриніту та екзініту) розчинялася в оливі. Продукти реакції (екстракт, твердий органічний залишок, мінеральні речовини та гази) розділяли в сепараторі. Отриманий демінералізований вугільний екстракт поступав на перегонку під вакуумом в дистиляційну установку для відокремлення рециркуляційного розчинника, що кипить вище 270°C, і більш легкої оливної фракції, що кипить нижче 270°C. Вугільний екстракт отримували у вигляді кубового залишку – смолистої речовини, яка затвердіває при температурі навколишнього середовища. За рахунок гідророзщеплення макромолекулярної матриці неспікливого високозольного вугілля в отриманому кінцевому продукті (вугільному екстракті (SRC)) спостерігалось збільшення вмісту вуглецю з 82 до 89%, зниження вмісту кисню від 9% до приблизно 3-4%, підвищення індексу спікливості (Caking index IS) з 4-20 до 44-45, зменшення зольності з 15 % до 6-7%. Результати дослідних коксувань вугільних сумішей з добавкою 10 % SRC показали, що відбуваються зміни в мікроструктурі коксу, підвищується ступінь анізотропії, що обумовлює зростання показників холодної та гарячої міцності. Висока плинність вугільного екстракту дає можливість використовувати його як цінну спікливу присадку та економити до 30 % добреспікливого імпортного вугілля.

В статті [10] представлені результати процесу отримання спікливого компоненту вугільних шихт для коксування з суміші низькосортного неспікливого вугілля та залишків біомаси шляхом їх термічної екстракції. В якості полярних розчинників використовували N-метил-2-піролідінон і етанол, масове співвідношення біомаси, низькосортного вугілля та об'єму полярного розчинника були на рівні 1:4 і 400 мл відповідно. Встановлено, що в результаті термічної екстракції, яка супроводжується протіканням реакцій декарбосилювання, дигідроксилування, десульфурації через вільну

радикальну дисоціацію низькосортного вугілля та біомаси під дією високих температур (360 °C) та тиску (2-3 МПа), суттєво знижуються вміст кисню та сірки (на 21 % і 46 % відповідно), зольність з 10,37 мас.% до 0,86 мас.%; збільшується вміст вуглецю з 76,87 до 78,18 мас.%. Вміст вітриніту та середній коефіцієнт відбиття вітриніту продукту термічної екстракції становили 95 % і 0,352 відповідно.

Отримане гіпервугілля (НРС) демонструє хороші спікливі властивості (індекс G становить 95 %), та високий індекс плинності 35,48 мм, які перевищили аналогічні показники для вугільної сировини, з якої добавка була отримана. Отримані характеристики продукту дають можливість використовувати його в якості сировини для коксування або спікливої присадки до вугільної шихти. Результати дослідних коксувань з використанням зазначеної добавки (НРС) показали, що високий вміст вітриніту в гіпервугіллі обумовлює утворення мозаїчної структури коксу; досягається суттєве зниження зольності коксу, що забезпечує зростання міцності коксу. Оптимальна кількість добавки у шихті за результатами досліджень становить 15 мас. %.

### **1.3 Характеристика окалини і відпрацьованих масел прокатного виробництва**

Одним з багатотонажних відходів металургійного комплексу є замаслена прокатна окалина. Замаслена прокатна окалина утворюється в прокатному виробництві при гідрозмиві окалини і відпрацьованих змащувальних матеріалів. При гідрозмиві утворюється трифазна трикомпонентна система – суспензія відпрацьованої прокатної окалини і емульсія нафтопродуктів у водному середовищі.

Щільність дисперсної фази суспензії відпрацьованої прокатної окалини більше щільності дисперсного середовища, а щільність дисперсної фази емульсії нижча за щільність води. В результаті при подальшому розділенні

фаз методом відстоювання в горизонтальних відстійниках прокатного виробництва утворюється: 1) осад замасленої прокатної окалини; 2) очищена вода «брудного» циклу прокатного виробництва; 3) шар нафтопродуктів на поверхні очищеної води.

Осад замасленої прокатної окалини з горизонтальних відстійників прокатного виробництва вивантажується грейферними кранами в дренажні відсіки. У дренажних відсіках відбувається обезводнення осаду. Вода під дією сили тяжіння опускається вниз, а нафтопродукти піднімаються вгору. В результаті за рахунок видалення частини води замаслена прокатна окалина збагачується нафтопродуктами.

Зневоднена в дренажних відсіках горизонтальних відстійників замаслена прокатна окалина перевозиться в сховища.

Відпрацьоване масло автотранспортних і залізничних цехів утворюється при заміні масел в двигунах автомобілів і тепловозів [5].

Замаслена прокатна окалина з відсіків горизонтальних відстійників складається з трьох основних компонентів: 1) відпрацьованих масел, споживаних прокатним виробництвом; 2) води 3) оксидів заліза (окалини).

Вміст масел в замасленій прокатній окалині коливається в межах від 10 до 18%, залежно від режиму вивантаження окалини з відсіків горизонтальних відстійників і часу витримки накопиченого у відсіках осаду.

Вміст води в замасленій прокатній окалині також представляє змінну величину, що коливається в межах від 12 до 25%, залежно від тих же чинників, які впливають на вміст масел, оскільки при зміні вмісту масла неминуча зміна вмісту і води.

Вміст оксидів заліза є функцією від пов'язаного один з одним вмісту масел і води: воно коливається залежно від вищенаведених чинників в межах від 60 до 78%.

Вміст оксиду заліза-2 (закис заліза) в суміші оксидів відносно стійкий і складає близько 70%. Інші 30% доводяться на оксид заліза-3 (окисел заліза).

В твердій фазі замасленої прокатної окалини (0,06-0,09%, рідко до 0,5%) знаходяться оксиди кальцію, магнію, алюмінію і кремнію. Поява їх зобов'язана руйнуванню вогнетривких футерувань і попаданню матеріалу в окалину [15].

Замаслена прокатна окалина характеризується такими даними [16]

Вміст класів (%), мм:

<0,25	3,2
0,25 -0,5	35,1
0,5-1,0	28,5

Вміст класів (%), мм:

1,0-2,0	17,6
2,0-2,5	4,5
> 2,5	11,1

Хімічний склад, %:

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,5
FeO	62,0
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	5,5

Насипна щільність, г/см<sup>3</sup> 2,15

Дійсна щільність, г/см<sup>3</sup> 4,8

Характеристика масла

В'язкість, см<sup>2</sup>/с 537,12

Щільність г/см<sup>3</sup> 0,9

Розгін в інтервалі 260- 370 °С,%:

260-340	40
340-360	80
360-370	95

В'язкість після перегонки, см<sup>2</sup>/с 9,14

Щільність після перегонки, г/см<sup>3</sup> 0,899

Заскладована замаслена прокатна окалина відрізняється від замасленої прокатної окалини з відсіків горизонтальних відстійників значно меншим інтервалом варіювання вмісту масла і води, відповідно і оксидів заліза.

Вміст масел коливається в межах 8-12%, води — в межах 6-10%, залежно від пори року і кількості випавших осадів. Вищий вміст оксидів кальцію, магнію, алюмінію і кремнію (до 1,5%, рідко вище) пояснюється руйнуванням матеріалу, будівельним сміттям і вапняним пилом. Окрім цього відмічається вищий вміст оксидів заліза-3 порівняно з свіжою замасленою прокатною окалиною, що є слідством тривалої дії кисню повітря на оксиди заліза-2 [5].

Відпрацьоване масло прокатного виробництва з поверхні відсіків горизонтальних відстійників складається з трьох основних компонентів: 1) відпрацьованих масел, що використовуються у прокатному виробництві; 2) води та 3) оксидів заліза (окаліни).

Дослідження по вивченні складу відпрацьованих масел, що підіймаються на поверхню секцій горизонтальних відстійників, не проводились. Окремі дані із літературних джерел дозволяють дати приблизні знання про речовинний склад відпрацьованого масла прокатного виробництва.

Вміст масел у відпрацьованому маслі знаходиться у межах від 90-98%, в залежності від режиму розшарування фаз у відсіках горизонтальних відстійників та часу витримування накопиченого на поверхні відсіків шару масла.

Вміст води у замасленій прокатній окаліні також представляє змінну величину, що коливається в межах від 2 до 10%, в залежності від тих же факторів, що впливають на вміст масел.

Вміст оксидів заліза являється функцією гідродинамічного режиму у секціях горизонтальних відстійників; він дуже не значний і не може бути більше 0,1-0,8% від вмісту масел. Вміст оксиду заліза-2 в суміші оксидів відповідно нестійкий та визначається гран складом частин субмікронного розміру.

В твердій фазі відпрацьованого масла можуть міститись також і оксид кальцію, магнію, алюмінію та кремнію.

Стосовно дисперсного складу частин твердої фази відпрацьованого масла, то дослідження по вивченню речового складу відпрацьованого масла

прокатного виробництва комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» не проводились. Теоретичні розрахунки доводять, що розмір часток окалини у відпрацьованому маслі не перевищує  $1/316$  розміру спливаючих краплин масла [5].

#### **1.4 Огляд способів утилізації прокатної окалини і відпрацьованих масел**

В останній час все більше уваги приділяється питанням використання масломістких відходів прокатного виробництва в якості органічних добавок до вугільних шихт при отриманні коксу.

Замаслена прокатна окалина металургійних підприємств може слугувати джерелом отримання залізо місткого матеріалу, рафінованого масла, вуглецевих газів, палива або сировини – для наступної переробки на інших підприємствах, наприклад коксохімічних, в якості добавок до вугільної шихти.

На підприємстві «АрселорМіттал Кривий Ріг» розроблений метод комплексної переробки замасленої прокатної окалини (ЗПО), оснований на температурній її обробці без доступу кисню при протіканні наступних процесів: випарювання води та видалення масел у паровому стані або у вигляді туману; низькотемпературного (до  $380^{\circ}\text{C}$ ) та частково каталітичного крекінгу на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а також відновлення оксидів заліза вуглеводнями. Заслуговує уваги і використання відходів прокатного виробництва в якості добавок до вугільної частково брикетованої шихти для коксування. При цьому розроблена технологія перевезення замасленої окалини методом «прошарованого пирога» у вагонах.

Введення до шихти замасленої прокатної окалини в кількості  $\leq 0,5\%$  сприяє покращенню якісних показників міцності коксу при незначному збільшенні зольності за рахунок потрапляння в кокс відновленого заліза. Найбільш інтенсивним та перспективним представляється використання

відпрацьованих масел прокатного виробництва для замаслення вугільних шихт з ціллю збільшення насипної щільності шихти [5].

Використання замасленої прокатної окалини в агломераційному переділі найдетальніше досліджене з погляду визначення максимальної витрати замасленої прокатної окалини, що вводиться в агломераційну шихту, на 1 т одержуваного агломерату. Така технологія утилізації знайшла практичне застосування на багатьох металургійних комбінатах України. При введенні в агломераційну шихту замасленої прокатної окалини до 1,5-2,0 кг/т готового агломерату відмічено, що продуктивність агломераційних машин не падає і якість одержуваного при цьому агломерату залишається на колишньому рівні.

Другий напрям використання замасленої прокатної окалини в агломераційному переділі передбачає підготовку замасленої прокатної окалини до сипкого газопроникного стану і подачу одержаного матеріалу над зоною горіння і спікання.

Дослідження по застосуванню замасленої прокатної окалини як добавки у вугільну шихту при проведенні процесу коксування здійснені в промисловому масштабі УНПЦ НМАУ (без застосування розпушуючих добавок) і ТУ спільно з НПП “Промтех” (із застосуванням у вигляді розпушуючої добавки торфу активованого). Введення замасленої прокатної окалини при витратах не більше 1% у вугільну шихту дозволяє застосовувати очищену в процесі коксування окалину, що міститься в одержуваному коксі, у вигляді відновленого заліза безпосередньо в доменному переділі, минувши агломерацію і використовувати масла замасленої прокатної окалини у вигляді коксового газу, що утворюється при розкладанні нафтопродуктів на оксидах заліза як на каталізаторі як висококалорійне паливо для потреб доменного процесу.

Недолік методу, виявлений при проведенні промислових випробувань УНПЦ НМАУ (без застосування розпушуючих добавок) полягає в технічних труднощах рівномірного введення і дозування замасленої прокатної окалини

у вугільну шихту. Вищенаведений недолік технічно і технологічно вирішений ТУ спільно з НПП “Промтех” застосуванням розпушуючої добавки - торфу активованого (ТА). Використання упродовженої в промисловому масштабі технології дозволяє підготувати пластиліноподібну в'язку масу замащеної прокатної окалини до кондиції сипкого і газопроникного матеріалу, що легко дозується існуючими пристроями.

Другий напрям досліджень, що дозволяє максимально усунути технічні труднощі рівномірного введення і дозування замащеної прокатної окалини у вугільну шихту, передбачає використання нафтових масел як добавки, що підвищує насипну щільність вугільної шихти і що запобігає змерзання вугілля в зимовий період [15].

Отже, застосування органічних добавок, в якості яких розглядається і замащена прокатна окалина, можна розглядати як один з перспективних напрямків комплексного підходу до виробництва металургійного коксу, який включає поліпшення металургійних властивостей коксу для доменної плавки, розширення вугільної сировинної бази та утилізацію техногенних відходів.

Замаслена прокатна окалина металургійних підприємств може служити джерелом одержання залізовмісного матеріалу, рафінованого масла, палива або сировиною - для наступної переробки на коксохімічних підприємствах як добавки до вугільної шихти.

Введення в шихту замащеної прокатної окалини може сприяти поліпшенню показників якості коксу. Перспективним представляється використання відпрацьованих масел прокатного виробництва для обмаслення вугільних шихт із метою підвищення насипної щільності.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір і обґрунтування вибору технології утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту

Проведені дослідження показали принципову можливість використання масляної суспензії (суміші замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла в співвідношенні  $1 : (0,8 \div 1,2)$  у якості добавки у вугільні концентрати в кількості  $0,5 + 1,0\%$  від маси вугільної шихти.

При введенні у вугільні концентрати масляної суспензії відбувається:

- 1) рівномірний розподіл замасленої прокатної окалини за всім обсягом вугільної шихти;
- 2) підвищення об'ємної щільності вугільної шихти, що подається в коксові батареї;
- 3) збільшення виходу товарних продуктів коксохімічного виробництва;
- 4) запобігання змерзанню вугілля в зимовий період;
- 5) поліпшення сходу вугілля в силосі.

Рівномірний розподіл замасленої прокатної окалини по всьому об'ємі вугільної шихти забезпечується тим, що замаслену прокатну окалину перед введенням її у вугільну шихту поточного виробництва змішують з відпрацьованими маслами прокатного виробництва та/або з відпрацьованими маслами автотранспортних підприємств та/або з відпрацьованими маслами залізничних цехів до утворення масляної суспензії, а також тим, що введення у вугільну шихту поточного виробництва масляної суспензії здійснюють на поверхню вугілля, що подається до силосу, при цьому масове співвідношення замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла в масляній суспензії витримують в переділах 1 частину замасленої прокатної окалини на  $0,8 \div 1,2$  частин відпрацьованих масел.

Основні принципи методу введення масляної суспензії у вугільну шихту полягають в тому, що:

- змішування замащеної прокатної окалини перед введенням її у вугільну шихту поточного виробництва з відпрацьованим маслом прокатного виробництва та/або з відпрацьованими маслами автотранспортних підприємств та/або з відпрацьованими маслами залізничних цехів до утворення масляної суспензії дає можливість підвищити ефективність змішування замащеної прокатної окалини з шихтою поточного виробництва і усунути технічні труднощі дозування малих кількостей замащеної прокатної окалини в шихту поточного виробництва. Масляна суспензія, що утворюється при змішуванні замащеної прокатної окалини і відпрацьованих масел, це продукт, що добре дозується в будь-яких кількостях у вугільну шихту і що добре розподіляється за всім її обсягом;

- введення у вугільну шихту поточного виробництва масляної суспензії, здійснюване на поверхню вугілля, що подається в силос, дозволяє підвищити ефективність змішування замащеної прокатної окалини з шихтою поточного виробництва. Введена на поверхню того, що подається в силос, вугілля масляна суспензія, що містить в собі замащену прокатну окалину і відпрацьовані масла, веде до практично рівномірного розподілу введених матеріалів по всій масі вугільної шихти;

- при витримці масового співвідношення замащеної прокатної окалини і відпрацьованих масел в масляній суспензії в переділах 1 частину замащеної прокатної окалини на  $0,8 \div 1,2$  частин відпрацьованих масел підвищується ефективність змішування замащеної прокатної окалини з шихтою поточного виробництва, забезпечується запобігання змерзанню вугілля в силосах в зимовий період і поліпшується схід вугілля з силосів.

Проведеними дослідженнями встановлено, що при співвідношенні в масляній суспензії замащеної прокатної окалини і відпрацьованого масла  $1: < 0,8$  значно підвищується її в'язкість, що веде до зниження ефективності змішування замащеної прокатної окалини з шихтою поточного виробництва. Окрім цього, при співвідношенні  $1: < 0,8$  через малий вміст масел не забезпечується запобігання змерзанню вугілля в силосах в зимовий період і не

поліпшується схід вугілля з силосів. При співвідношенні в масляній суспензії замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел  $1:>1,2$  знижується ступінь утилізації замасленої прокатної окалини, оскільки витрата її стає менше 5-10 кг на 1 т шихти [16-21].

Вибраний склад вугільної шихти дозволить забезпечити нормальний вихід продуктів коксування, задовільні показники якості коксу.

В роботі досліджували введення у вугільну шихту масляної суспензії з розрахунку на робочу масу вугільної шихти - 0,70%.

Якість масляної суспензії приведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

### Якість масляної суспензії

Масова частка окалини, %	CaO	SiO <sub>2</sub>	Масова частка води, %	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °C
33-35	не допускається	не допускається	10-12	1170	15-30

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18-20]

Вміст оксидів заліза  $0,35 \cdot 0,70 = 0,245\%$ , причому заліза 0,18 %.

Вміст кисню – 0,065%.

Волога масляної суспензії складає  $0,12 \cdot 0,70 = 0,084\%$

Величина зольності - 0,245%

При коксуванні вугільної шихти оксиди заліза відновлюються воднем до чистого заліза (Fe) і в кокс переходить 0,245% заліза окалини.

## 2.2 Розробка методу комплексної переробки замасленої прокатної окалини

В роботі пропонується метод комплексної переробки замасленої прокатної окалини, заснований на температурній її обробці без доступу кисню при протіканні наступних процесів: випаровування води і видалення масел в

пароподібному стані або у вигляді туману; низькотемпературного і частково каталітичного крекінгу на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а також відновлення оксидів заліза вуглеводнями [21].

Вантаження окалини з відстійників або зневоднювачів проводиться в спеціально виділені для цієї мети залізничні вагони. Змішування торфу активованого з замасленою прокатною окалиною здійснюється механізованим способом за допомогою грейферного крана. Змішування проводиться на спеціальному майданчику із західної сторони ГВ-4 СПЦ-3, на яку вивантажена партія торфу. Для змішування з торфом використовується замаслена прокатна окалина, накопичена в дренажних відсіках ГВ-4. Замаслена прокатна окалина, що подається, розподіляється по всій поверхні вивантаженого торфу активованого. Перемішування дослідного двошарового пирога проводиться в декілька прийомів, перший прийом перемішування починається відразу після розподілу всієї замасленої прокатної окалини по поверхні торфу активованого. Інтервал між прийомами перемішування складає приблизно 12 годин. Кількість прийомів перемішування замасленої прокатної окалини і торфу активованого визначається в процесі проведення випробувань. Підготовлена таким чином суміш замасленої прокатної окалини плюс торф активований є матеріалом для завантаження спільно з вугільною шихтою в залізничні вагони. Співвідношення замасленої прокатної окалини до торфу активованого складає 2:1.

При вивантаженні окалини з відстійників вона містить підвищену кількість масла і води. З метою запобігання прилипанню окалини до днища вагону 1 вуглепідготовчому цеху в нього завантажуються 15-20 тон вугільної шихти з конвеєра У-396. Після завантаження вагонів у вуглепідготовчому цеху вагони подаються на ділянку шламового цеху, де завантажуються, заздалегідь підготовленою сумішшю торфу і окалини.

Завантажені вагони з окалиною подаються назад у вуглепідготовчий цех для засипки зверху шихтою в кількості 10-25 т з конвеєра У-396. Вагони із завантаженою в них тришаровою сумішшю шихти, замасленої прокатної

окаліни і торфу подаються на вагоноопрокид для розвантаження. Для завантаження окаліни кожного разу повинно подаватися 20 залізничних вагонів. Розвантаження вагонів проводиться в порожні бункери вагоноопрокиду. З бункерів вагоноопрокиду матеріал закачується в спеціально підготовлений силос.

Вивантаження на вагоноперекидач, завантаження в силоси закритого складу і дозування у вугільну шихту суміші замащеної прокатної окаліни виконує вуглепідготовчий цех. Дозування суміші з окаліною проводиться на вугільну башту №1 у кількості до 15 т/годину. Потік вугільних концентратів, що містить окаліну, подається в молоткову дробарку для дроблення і змішування [20].

Введення в шихту замащеної прокатної окаліни в кількості  $\approx 0,5\%$  сприяє поліпшенню міцності коксу при незначному збільшенні зольності внаслідок попадання в кокс відновленого заліза.

Найцікавішим і перспективнішим представляється використання відпрацьованих масел прокатного виробництва для обмаслювання вугільних шихт з метою підвищення насипної щільності шихти [6-9].

Для подальших досліджень в даній роботі буде розглянута дослідно-промислова установка по введенню суміші замащеної прокатної окаліни і відпрацьованих масел у вугільну шихту, яка призначена для приготування масляної суспензії на ділянці підготовки замащеної прокатної окаліни шламового цеху і введення одержаної масляної суспензії у вугільні концентрати як добавки, що забезпечує збільшення продуктивності коксових батарей за рахунок підвищення насипної ваги вугільної шихти, а також що запобігає змерзанню вугілля в зимовий період і поліпшуючої їх схід з силосів.

### 2.3 Вплив замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел на якість вугільної шихти

При визначенні впливу добавки замасленої прокатної окалини на насипну щільність вугільної шихти, було встановлено, що її добавка трохи збільшує насипну щільність шихти (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

#### Залежність насипної щільності вугільної шихти від додавання замасленої прокатної окалини

Найменування	Добавка замасленої прокатної окалини, %							
	0,05	0,1	0,25	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0
Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	820	821	823	824	827	833	879	886
Підвищення насипної щільності, %	0,08	0,16	0,32	0,49	0,80	1,60	7,20	8,00

Примітка. Джерело: розроблено автором

Підвищення насипної щільності вугільної шихти в коксовій камері досягається за рахунок більшої насипної щільності окалини, а також за рахунок добавки відпрацьованих масел. Масла є органічною добавкою, введення якої в шихту в малих кількостях підвищує щільність вугільного завантаження в результаті зниження поверхневого натягу плівкової вологи, що в свою чергу збільшує рухливість вугільних зерен.

Оскільки необхідно ввести замаслену прокатну окалину в кількості 0,7%, то в результаті змішення її з відпрацьованим маслом прокатного виробництва 1:1, дану суміш в кількості 1% від маси вугільного завантаження додають у вугільні концентрати.

Якщо врахувати, що щільність одержаної суспензії суміші складе 1170 кг/м<sup>3</sup>, а початкова насипна щільність вугільної шихти 819 кг/м<sup>3</sup>, то зміна насипної щільності вугільної шихти буде наступною:

$$Z_{ниц} = \frac{819 \cdot 100 + 1170 \cdot 1}{100} = 830,7 \text{ кг/м}^3, \text{ що складає } 1,0\% \quad (2.1)$$

Введення у вугільні концентрати замащеної прокатної окалини помітно змінює механізм процесу термічної деструкції у бік розвитку реакцій гідрогенізації, що підвищують кількість рідкої фази під час переходу вугілля в пластичний стан, отже, змінює механізм їх спікливості і коксівності.

Важливим є і те, що завдяки введенню суміші збільшується вихід товарних продуктів коксохімічного виробництва: коксу, бензольних вуглеводнів, коксового газу, смоли кам'яновугільної і т.д.

У зимовий період додавання масляної суспензії є одночасно і заходом щодо боротьби із змерзанням вугілля. Наявність відпрацьованих масел прокатного виробництва в них покращує схід вугілля в бункері при дозуванні і зменшує кількість утворення точок ущільненого лежалого вугілля в бункері закритого складу.

Ще однією перевагою введення масляної суспензії є те, що на всіх етапах підготовки вугільної шихти до коксування: при транспортуванні стрічковими конвеєрами, дозуванні, дробленні, змішенні – зменшується кількість утворення пилу у виробничих приміщеннях, а також знижується рівень утворення фусів.

## **24 Вплив добавки замащеної прокатної окалини і відпрацьованих масел на показники якості коксу $M_{25}$ і $M_{10}$**

Добавка замащеної прокатної окалини у вугільну шихту вирішує питання утилізації даного відходу металургійного виробництва. Кількість та доцільність цієї добавки визначається впливом на якість коксу.

Продукти високодисперсної замащеної прокатної окалини володіють високорозвинутою внутрішньою поверхнею і рухомими електронами, сорбували лабільні рідкі і газоподібні продукти, у тому числі і водень, сприяючи раціональнішому використанню його ресурсів на стадії пластичного

стану. Тут масло є постачальником водню, а це сприятливо позначається на реакції деструктивної гідрогенізації. Все це перешкоджає ранньому виникненню зшитих структур і приводить до формування більш впорядкованої структури коксу, що приводить до підвищення його міцності.

На коксохімічному виробництві при проведенні дослідження по впливу добавки замасленої прокатної окалини на якість коксу і було встановлено, що ця добавка завдяки підвищенню насипної щільності шихти і поліпшенню спікливості а, отже, і коксівності веде до поліпшення показників  $M_{25}$  і  $M_{10}$ . Результати цих досліджень приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

**Вплив введення замасленої прокатної окалини на якість коксу**

Добавка до вугільної шихти замасленої прокатної окалини, %	Якість коксу	
	$M_{25}$	$M_{10}$
1	2	3
Без добавки	84,7	7,2
0,01	85,0	7,0
1	2	3
1	2	3
0,1	85,3	6,8
0,25	85,2	6,9
0,3	85,1	6,9
0,5	85,1	7,0
1,0	83,8	7,1

Примітка. Джерело: розроблено автором

Як видно з таблиці міцність коксу поліпшується при добавці у вугільну шихту не більше 0,5 % замасленої прокатної окалини. Подальше збільшення добавки окалини в шихту веде до погіршення якості коксу.

Розрахунок поліпшення показників якості коксу приведений в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

**Поліпшення якості коксу після введення у вугільну шихту  
замасленої прокатної окалини**

Зміна показників %	Величина добавки замасленої прокатної окалини %					
	0,01	0,1	0,25	0,3	0,5	1,0
M <sub>25</sub>	+0,3	+0,6	+0,5	+0,4	+0,4	-0,9
M <sub>10</sub>	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1

Примітка. Джерело: розроблено автором

Причому максимальне поліпшення міцності коксу спостерігається при введенні у вугільну шихту оптимальної кількості замасленої прокатної окалини в межах від 0,1 до 0,5 %.

Отриманий при введенні добавок замасленої прокатної окалини кокс, збагачений залізом, є продуктом, що містить два основні компоненти: вуглець, необхідний для проведення процесу отримання чавуну в доменній печі і відновлене до металевого стану залізо з розчиненим в ньому вуглецем (готовий чавун).

Якщо взяти до уваги, що "гаряча" міцність коксу може бути забезпечена за впровадження інших заходів, не пов'язаних з утилізацією замасленої прокатної окалини на КХВ, то залізо, що знаходиться в коксі, вимагає при виплавці чавуну в доменній печі тільки нагріву до розплавлення. На процеси відновлення витратити кокс не потрібно, оскільки відновлення заліза відбувається в коксових батареях.

Таким чином, застосування коксу обзалізованого в доменному виробництві доцільно з погляду зниження його витрати на відновлення

металевого заліза, що вводиться з замасленою прокатною окалиною. Що стосується підвищення зольності коксу, вимірюваної відповідно до стандартної методики, то передбачається облік наявності в коксі заліза металевого - із загальної зольності, визначеної згідно діючому ДСТУ, після хімічного аналізу на вміст заліза в неозоленому коксі, проводиться віднімання частки металевого заліза [18-20].

Дані дослідно-промислових випробувань технології утилізації замасленої прокатної окалини на КХВ і використання виробленого доменного коксу обзаліженого на ДП-9 за 10 місяців приведені в таблиці 2.6

Промислові дані по продуктивності ДП-9 і питомій витраті коксу за 10 місяців представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.6

**Дані дослідно-промислових випробувань технології утилізації  
замасленої прокатної окалини на КХВ і використання  
виробленого доменного коксу обзаліженого на ДП-9**

Показники	1 місяць	2 місяць	3 місяць	4 місяць	5 місяць	6 місяць	7 місяць	8 місяць	9 місяць	10 місяць
CSR <sub>12</sub> , %	34,3	38,4	44,3	33,9	36,6	26,3	22,5	28,8	31,0	29,6
CSR <sub>56</sub> , %	37,5	40,0	43,4	33,7	40,7	33,6	31,2	32,4	31,8	33,8
CRI <sub>12</sub> , %	41,5	39,7	35,2	41,7	40,1	49,4	46,0	46,7	44,7	47,0
CRI <sub>56</sub> , %	38,2	37,5	34,0	40,0	37,3	41,4	44,2	42,1	41,0	40,7
Q-9, т/добу	7622	7205	7133	7092	7092	7133	7310	6402	7082	7353
Кокс-9, кг/т	485	480	485	481	461	477	478	475	468	474
ОПО, т/міс	190	0	362	349	39	724	716	641	0	0
Q-6, т/добу	3012	3035	2817	2747	2920	2998	2954	3125	2924	3115

Кокс-6, кг/т	478	474	472	454	468	464	460	440	457	458
M <sub>25</sub> (12) %:	87,31	87,18	87,48	86,80	86,29	86,09	86,68	86,68	87,63	87,57
M <sub>10</sub> (12) %	8,20	8,35	8,52	8,87	9,11	8,91	8,64	8,68	8,10	8,06
Ac (12) %	11,73	12,05	11,70	12,01	11,78	12,38	12,25	11,45	11,50	11,59
S <sub>c</sub> <sup>t</sup> (12), %	1,04	1,115	1,140	1,213	1,285	1,263	1,354	1,245	1,303	1,378
M <sub>25</sub> (56), %	86,23	86,38	86,62	85,73	86,49	86,13	86,40	87,29	86,52	87,88
M <sub>10</sub> (56) %	7,57	7,60	7,48	7,88	7,76	7,90	8,00	7,62	7,70	7,45
Ac (56) %	11,55	11,30	11,22	11,65	11,20	11,68	11,37	10,95	11,15	11,38
S <sub>c</sub> <sup>t</sup> (56), %	1,095	1,122	1,132	1,160	1,223	1,208	1,253	1,204	1,247	1,320

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18-20]

Таблиця 2.7

**Промислові дані по продуктивності ДП-9  
і питомій витраті коксу за 10 місяців**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q-9, т/сутки	7622	7205	7133	7092	7092	7133	7310	6402	7082	7353
Кокс-9, кг/т	485	480	485	481	461	477	478	475	468	474

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18-20]

За період проведення дослідно-промислових випробувань "гаряча" міцність коксу має тенденцію до зниження, а його реакційна здатність - до підвищення [20-21].

## 2.5 Технологічна схема утилізації замасленої дрібнодисперсної прокатної окалини у вугільну шихту

Схема ланцюга апаратів установки по утилізації суміші замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел представлена на рисунках 2.1 та 2.2.

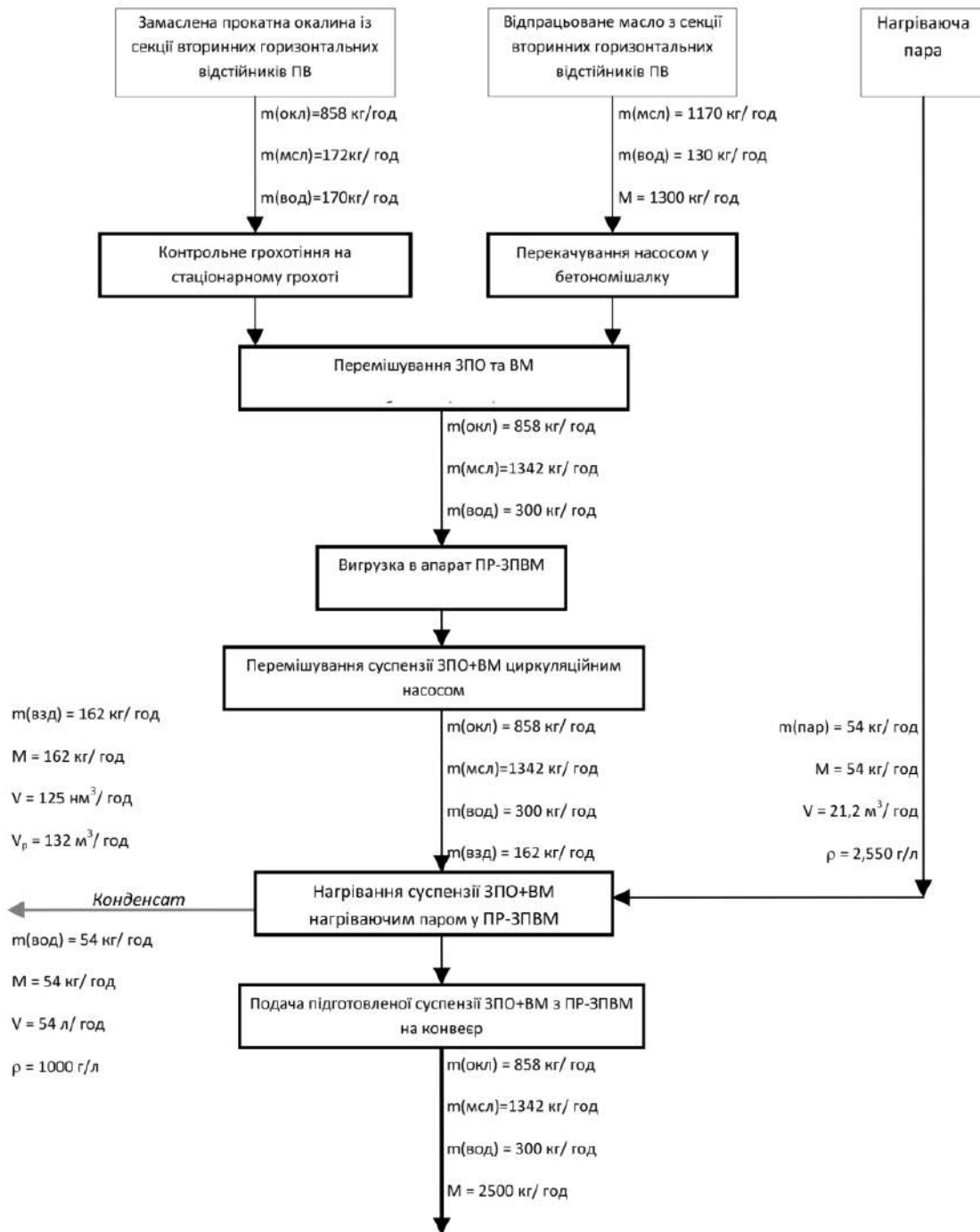
Початкова замаслена прокатна окалина з відсіків горизонтальних відстійників прокатного виробництва за допомогою грейферного крана (1) подається на завантажувальний пристрій (2), що включає стаціонарний грохіт. На стаціонарному гуркоті відбувається контрольне грохочення окалини. Очищена, від сторонніх предметів замаслена прокатна окалина самопливом вивантажується в бетономішалку (3).

Відпрацьоване масло прокатного виробництва з ємкості для відпрацьованого масла (4) насосом відцентровим масляним (5) закачується у необхідній кількості в бетономішалку (3). У бетономішалці (3) при русі її від горизонтальних відстійників прокатного виробництва до КХВ відбувається змішування завантажених матеріалів - замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла - з утворенням масляної суспензії.

На території розміщення установки для введення масляної суспензії у вугільні концентрати бетономішалка (3) в'їжджає на естакаду і розвантажується в апарат (6) для прийому суспензії замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла ПР-ОПОМ.

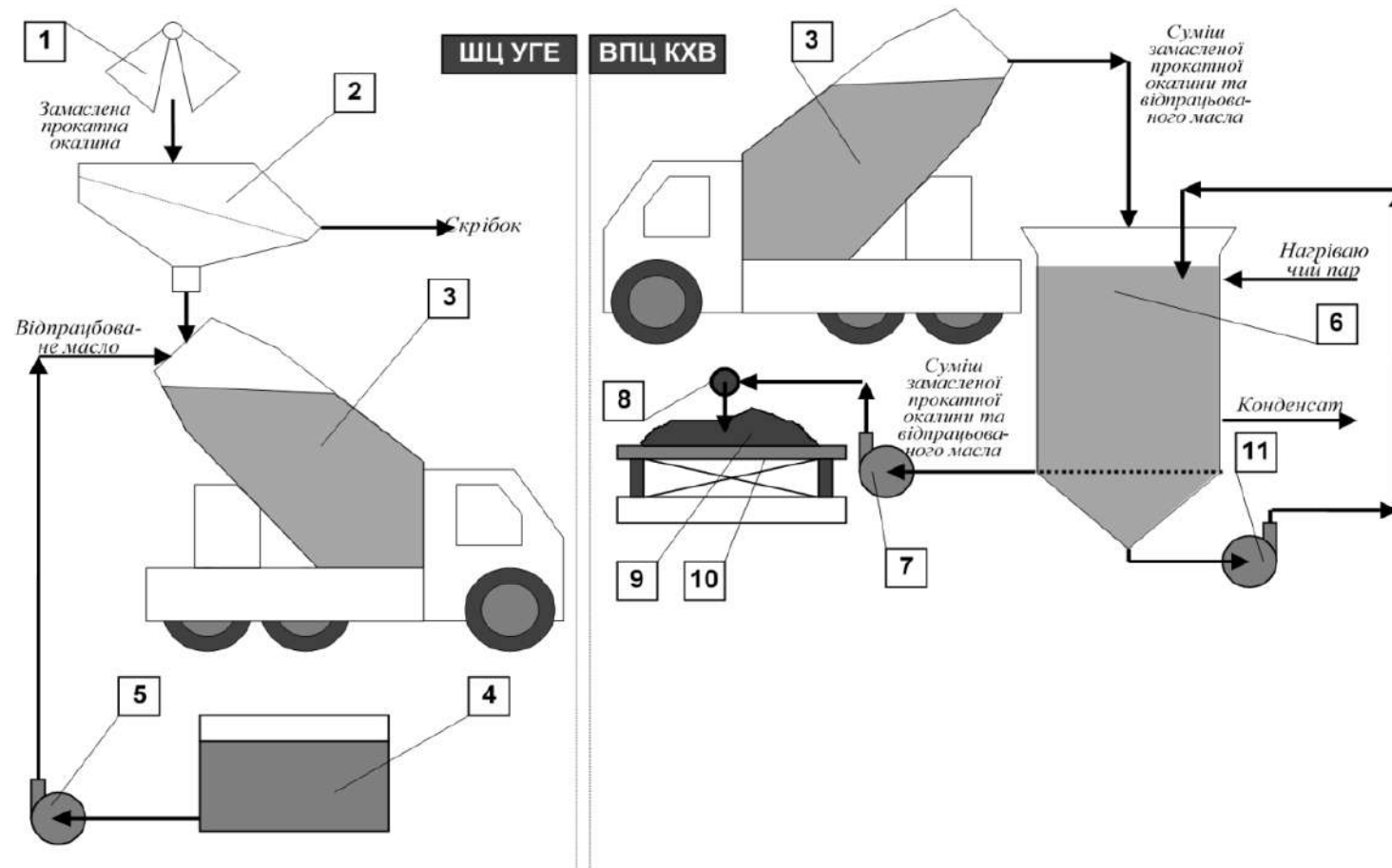
Вивантажена в апарат (6) масляна суспензія переміщується насосом відцентровим циркуляційним (11). У зимовий період проводиться підігрів вивантаженої в апарат (6) масляної суспензії гріючою парою.

Підготовлена таким чином масляна суспензія за допомогою насоса відцентрового живлячого (7) подається на пристрій (8) для розбрикування масляної суспензії на поверхню вугільного концентрату (9), переміщуваного збірним транспортером (10), далі транспортерами шихта з замасленою прокатною окалиною подається в дробарне відділення 1 черги де



**Рис. 2.1. Технологічна схема утилізації замасленої прокатної окалини та відпрацьованих масел**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18-20]



- 1 - кран грейферний (стандартний); 2 - пристрій завантажувальний (нестандартний); 3 - автобетономішалка (стандартна)  
 4 - сміська для відпрацьованого масла (стандартна); 5 - насос центробіжний масляний (стандартний)  
 6 - апарат для прийому суспензії замасленої прокатної окалини та відпрацьованого масла пр-опвм (нестандартний);  
 7 - насос центробіжний живильний (стандартний); 8 - пристрій для розбрикування (нестандартний)  
 9 - вугільна маса; 10 - транспортер (існуючий); 11 - насос центробіжний циркуляційний (стандартний)

**Рис. 2.2. Експлуатація основного обладнання**

подрібнюється молотковими дробарками. Після дробарного відділення підготовлена шихта подається на вугільну башту.

Таким чином, здійснюється приготування, доставка, підготовка і введення масляної суспензії (суміші відпрацьованого масла і замасленої прокатної окалини) у вугільну шихту, що подається в коксові батареї існуючим способом [5].

## 2.6 Розрахунок продуктивності вуглепідготовчого цеху і кількості необхідного устаткування

При визначенні добової продуктивності враховуємо те, що вугілля на ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» поступає з інтервалом і нерівномірно. Тому приймаємо чистий час роботи устаткування в межах 5 годин на добу і продуктивністю вагоноперекидача при розвантаженні вагонів вантажопідйомністю 60 тон – 1200 т/год, або 20 перекидань.

Таким чином для розвантаження 1200000 тон вугілля в рік необхідно розвантажити в добу:

$$60_{\text{т}} \cdot 20_{\text{перекидань}} \cdot 5_{\text{годин}} = 6000 \text{ тон на добу} \quad (2.2)$$

При цьому кількість вагоноперекидачів складає:

$$\frac{1200000_{\text{т/рік}}}{(6000_{\text{т/год}} \cdot 365_{\text{днів}})} = 0,55 \text{ вагоноперекидачів} \quad (2.3)$$

Для реалізації проекту приймаємо 1 вагоноперекидач.

Оскільки продуктивність цеху 1 200 000 т/рік, то продуктивність за добу складе:

$$П = \frac{1200000}{365 \cdot 24} = 137 \text{ т/год} \quad (2.4)$$

де 365- кількості днів в році;

24 - кількість годин в добі, год

$$П = 137 \cdot 18 = 2466 \text{ т/добу} \quad (2.5)$$

18 – кількість годин роботи відділення, дозування, година

При продуктивності цеху 137 т/год для дроблення шихти досить 1 дробарки, продуктивність якої 300 т/год і 1 дробарка повинна бути в резерві.

Розрахунок кількості силосів:

1) Вугілля марки Г (Жовтнева). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля - 5,0:

$$П = \frac{137 \cdot 5,0}{100} = 6,9 \text{ т/год} \quad (2.6)$$

$$П = 6,9 \cdot 18 = 124,2 \text{ т/добу} \quad (2.7)$$

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$З = 124,2 \cdot 7 = 869 \text{ т} \quad (2.8)$$

Вугілля марки К (Північна). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля -10,0:

$$П = \frac{137 \cdot 10,0}{100} = 13,7 \text{ т/год} \quad (2.9)$$

$$П = 13,7 \cdot 18 = 246,6 \text{ т/добу} \quad (2.10)$$

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$З = 246,6 \cdot 7 = 1726 \text{ т} \quad (2.11)$$

Вугілля марки КЖ+К+КТ (Східна). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля – 45,0:

$$П = \frac{137 \cdot 45,0}{100} = 61,7 \text{ т/год} \quad (2.12)$$

$$П = 61,7 \cdot 18 = 1110,6 \text{ т/добу} \quad (2.13)$$

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$З = 1110,6 \cdot 7 = 7774 \text{ т} \quad (2.14)$$

Вугілля марки К (Червоноармійська), % участі марки вугілля – 15,0, відповідно:

$$П = \frac{137 \cdot 15,0}{100} = 20,6 \text{ т/год} \quad (2.15)$$

$$П = 20,6 \cdot 18 = 370,8 \text{ т/добу} \quad (2.16)$$

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$З = 370,8 \cdot 7 = 2596 \text{ т} \quad (2.17)$$

Вугілля марки Ж (Київська). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля -5,0:

$$П = \frac{137 \cdot 5,0}{100} = 6,8 \text{ т/год} \quad (2.18)$$

$$П = 6,9 \cdot 18 = 124,2 \text{ т/добу} \quad (2.19)$$

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$З = 124,2 \cdot 7 = 869 \quad (2.20)$$

Вугілля марки Ж (Blue Greek). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля -10,0:

Необхідний 7-ми добовий запас даної марки вугілля:

$$П = \frac{137 \cdot 10,0}{100} = 13,7 \text{ т/год} \quad (2.21)$$

$$П = 13,7 \cdot 18 = 246,6 \text{ т/добу} \quad (2.22)$$

Вугілля марки К+КТ+КС (Північна). Запас вугілля повинен складати 7 діб, % участі вугілля - 10,0:

$$З = 246,6 \cdot 7 = 1726 \text{ т} \quad (2.23)$$

Необхідний 4-х добовий запас даної марки вугілля:

$$Z = 246,6 \cdot 7 = 1726 \text{ т} \quad (2.26)$$

Отже, враховуючи, що 1 силос розрахований на 2500 т вугілля, для зберігання розрахованої кількості вугільної сировини необхідно 11 силосів.

Кількість бункерів їх розташування, закріплена за певними марками вугілля, повинна відповідати пайовій участі цих марок у складі шихти.

З метою усереднювання вугілля в процесі дозування кожна шахтогрупа повинна видаватися не менше ніж з двох силосів. Винятки становлять компоненти, участь яких в шихті не перевищує 5 %.

Кран грейферний 1 (стандартний)

Кран грейферний повинен забезпечити переміщення протягом доби:

$$\frac{1,382 \cdot 24 \cdot 2}{1,15} = 58 \text{ т} \quad (2.27)$$

початкової замасленої прокатної окалини з відсіку горизонтального відстійника в приймальний бункер пристрою завантажувального (ТЗ-УЗ-0 1- 000), що складає приблизно 42 підйоми.

Пристрій завантажувальний 2 (нестандартний)

Продуктивність пристрою завантажувального повинна складати при часі завантаження 1 хвилина:

$$1,382 \cdot 60 = 83 \text{ т/год} \quad (2.28)$$

Решта характеристик пристрою завантажувального приведена в технічному завданні на розробку конструкторської документації для виготовлення експериментального зразка пристрою завантажувального УЗ (ТЗ-УЗ-01-000).

Автобетономішалка 3 (стандартна)

Продуктивність автобетономішалки визначається її технічними характеристиками. для перевезення:

$$\frac{2,500 \cdot 24}{1,15} = 53_{\text{т/добу}} \quad (2.29)$$

При вантажопідйомності бетономішалки 3 т їх потрібно 2 одиниці.

Ємкість 4 для відпрацьованого масла (стандартна)

Ємкість для відпрацьованого масла (стандартна) — що існує. Робочий об'єм і інші характеристики визначені технічною документацією на існуючу ємкість. Робочий об'єм ємкості для відпрацьованого масла при добовому запасі повинен складати:

$$\frac{1,3 \cdot 24}{0,8 \cdot 1,15} = 35_{\text{м}^3}. \quad (2.30)$$

Насос відцентровий масляний 5 (стандартний)

Насос відцентровий масляний (стандартний) — що існує. Робочий натиск, продуктивність і інші характеристики визначені технічною документацією на існуючий насос. При часі завантаження близько 5 хвилин продуктивність насоса повинна бути:

$$\frac{1,87 \cdot 60}{5} = 25_{\text{м}^3/\text{годину}} \quad (2.31)$$

Апарат 6 для прийому суспензії замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла ПР-ОПОМ (нестандартний)

Основні характеристики апарату:

- робочий об'єм.....51,2 м<sup>3</sup>
- висота робочої зони апарату.....3,2 м
- час перебування масляної суспензії в апараті.....2,3 години

Решта характеристик апарату приведена в технічному завданні на розробку конструкторської документації для виготовлення

експериментального зразка апарату для прийому суспензії замасленої прокатної окалини і відпрацьованого масла ПР-ОПОМ (ТЗ-ПР-ОПОМ-01-000).

Насос відцентровий живильний 7 (стандартний)

Насос відцентровий (стандартний) — що купується. Робочий натиск, продуктивність і інші характеристики визначені технічною документацією на придбаний насос.

Насос відцентровий повинен забезпечувати продуктивність:

$$Q = 2,136 \text{ м}^3/\text{год при щільності перекачуваної суспензії } 1170 \text{ кг/м}^3$$

Пристрій 8 для розбризкування (нестандартний)

Пристрій для розбризкування — нестандартний повинен забезпечувати продуктивність:

$Q = 2,136 \text{ м}^3/\text{час при щільності суспензії } 1170 \text{ кг/м}^3$ . КД на виготовлення розробляється на стадії проектування установки.

Насос відцентровий циркуляційний 11 (стандартний)

Насос відцентровий (стандартний) — що купується. Робочий натиск, продуктивність і інші характеристики визначені технічною документацією на придбаний насос.

Насос відцентровий повинен забезпечувати продуктивність:

$$Q = 21,36 \text{ м}^3/\text{год при щільності перекачуваної суспензії } 1170 \text{ кг/м}^3 [18-20].$$

## **2.7 Економічна ефективність запропонованого методу комплексної переробки відпрацьованої прокатної окалини**

Згідно з темою кваліфікаційної роботи магістра запропоновано використання замасленої прокатної окалини та відпрацьованих масел, що обумовить зменшення забруднення навколишнього середовища, збільшення виходу товарних продуктів коксування та поліпшення якості коксу шляхом використання 17855 т на рік замасленої прокатної окалини, яка є відходом. З економічної та екологічної точки зору доцільніше використовувати ці відходи

та отримувати товарну продукцію, ніж накопичувати їх у сховищах та відвалах.

Таблиця 2.8

**Чинники, що зумовлюють економічну  
доцільність дослідницьких рішень**

Найменування показників, що змінюються внаслідок дослідницьких рішень	Зміни ( $\pm$ )		Джерело інформації
	абс.	відн.,%	
Додаткова кількість коксу	1071,3	0,06	ТР-228-КХ-04-2003 Постійний технологічний регламент вуглепідго-товчого цеху КХВ, 2003.
Додаткова кількість газу	1428,4	0,06	Регламент
Додаткова кількість бензолу	1071,3	0,08	Регламент
Підвищення якості коксу - $M_{25}$ - $M_{10}$		0,4 0,2	ТЛЗ-КХП-ОПОМ-01.000 Вихідні данні на проектування «Дослідно - промислова установка по введенню суміші обмасленої прокатної окалини та відпрацьованих масел у вугільну шихту»: ВАТ «Холдинг-Компанія «Інтернет», 2002.-22с.

Примітка. Джерело: розроблено автором

Економічна ефективність запропонованих технологічних рішень може бути досягнена за рахунок додаткової кількості продукції, підвищення якості коксу за показниками  $M_{25}$  та  $M_{10}$  [22].

Економія від додаткової кількості товарної продукції

Кількість заліза в 1 тонні замасленої прокатної окалини складатиме:

$$X_{Fe} = 0,325 \cdot \frac{2 \cdot M_{Fe}}{M_{Fe_2O_3}} + 0,62 \cdot \frac{M_{Fe}}{M_{FeO}}, \quad (2.32)$$

де  $M_{Fe}$  - молекулярна маса заліза, кг/моль;

$M_{Fe_2O_3}$  - молекулярна маса оксиду заліза (III), кг/моль;

$M_{FeO}$  - молекулярна маса оксиду заліза (II), кг/моль;

0,325- вмісту оксиду заліза (III) в окалині, кг.;

0,62 вміст оксиду заліза (II) в окалині, кг

$$X_{Fe} = 0,325 \cdot \frac{56 \cdot 2}{56 \cdot 2 + 16 \cdot 3} + 0,62 \cdot \frac{56}{56 + 16} = 0,7097 \text{ т або } 71 \%$$

У одній тонні замасленої прокатної окалини міститься 700 кг сухої окалини, зокрема:

де  $X_3 = 700 \cdot 0,055 = 38,5$  кг золи окалини

$X_{Fe_2O_3} = 700 \cdot 0,325 = 227,5$  кг оксиду заліза (III)

$X_{FeO} = 700 \cdot 0,62 = 434,0$  кг оксиду заліза (II).

Виходячи з цього, кількість чистого заліза у фізичних величинах в одній тонні замасленої прокатної окалини складе:

$$X_{Fe_{\text{чист}}} = \frac{X_{Fe_2O_3} \cdot 2 \cdot M_{Fe}}{M_{Fe_2O_3}} + \frac{X_{FeO} \cdot M_{Fe}}{M_{FeO}} \quad (2.33)$$

$$X_{Fe_{\text{чист}}} = \frac{227,5 \cdot 2 \cdot 56}{56 \cdot 2 + 16 \cdot 3} + \frac{434 \cdot 56}{56 + 16} = 496,8 \text{ кг або } 49,68\%$$

Зольність коксу з урахуванням чистого заліза складе:

$$A_k = X_{Fe_{чист}} + X_z \quad (2.34)$$

$$A_k = 496,8 + 38,5 = 535,3 \text{ кг}$$

Кількість виходу продуктів піролізу з однієї тони замасленої прокатної окалини вказана в таблиці 2.9

Таблиця 2.9

**Вихід продуктів піролізу з 1 тони замасленої прокатної окалини**

Матеріал	Вміст, %	Продукт піролізу	Вихід продукту		Ціна, грн	
			%	Тон	Одиниці	Продукту
Окалина	70	Твердий залишок:				
		Залізо	49,68	0,4968	344	171
		Зола в окалині	3,85	0,0385	344	13,24
		Вода	18,47	0,1847	0	0
Масло	20	Кокс	6	0,06	2707	162
		Бензол	8	0,08	2462	197
		Коксовий газ	6	0,06	204	269
Вода	10	Вода	10	0,1	0	0
РАЗОМ	100		100	1		812,64

Примітка. Джерело: розроблено автором

При використанні 17885 тон замасленої прокатної окалини на рік, економія складатиме:

$$E_{ок} = C_{пр} \cdot X_{ок}, \quad (2.35)$$

де  $C_{пр}$  - загальна вартість одержаних продуктів піролізу з 1 тони замасленої прокатної окалини, грн.;

$X_{ок}$  - кількість обмасленої прокатної окалини на рік, т.

$$E_{ок} = 17885 \cdot 812,64 = 14534 \text{ тис. грн.}$$

Економія від поліпшення міцності коксу при введенні у вугільну шихту замасленої прокатної окалини:

$$E_{\kappa} = \frac{(Z_{M_{25}} \cdot \Pi_{M_{25}} + Z_{M_{10}} \cdot \Pi_{M_{10}}) \cdot C_{\kappa} \cdot X_{ш} \cdot W_{кв} \cdot W_{кд}}{100}, \quad (2.36)$$

де  $Z_{M_{10}}$  і  $Z_{M_{25}}$  - зміна показників  $M_{25}$  і  $M_{10}$  %;

$\Pi_{M_{25}}$  - приплати за зміну показників  $M_{25}$  та  $M_{10}$  на 1%;

$C_{\kappa}$  - вартість 1 тони коксу, грн.;

$X_{ш}$  - річна витрата вугільної шихти, т.;

$W_{кв}$  - вихід валового коксу %;

$W_{кд}$  - вихід коксу доменного з валового %.

$$E_{\kappa} = \frac{(0,4 \cdot 0,6 + 0,2 \cdot 2,6) \cdot 2707 \cdot 1200000 \cdot 0,7760 \cdot 0,9192}{100} = 67658 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, економія при використанні замасленої прокатної окалини у вугільну шихту складе:

$$E = E_{ок} + E_{\kappa} \quad (2.37)$$

$$E = 67658 + 14534 = 82192 \text{ тис. грн.}$$

Виходячи з одержаних даних можна зробити висновок, що впровадження установки по утилізації замасленої прокатної окалини і відпрацьованих масел в цеху вуглепідготовки є ефективним та економічно доцільним рішенням.

## 2.8 Аналіз екологічних аспектів технології утилізації прокатної окалини у вугільну шихту

Охорона навколишнього природного середовища має важливе значення. В даний час можливі два напрями захисту навколишнього середовища від шкідливих дій.

Перший напрям, який іноді називають пасивним методом захисту навколишнього середовища, є комплекс заходів щодо обмеження шкідливих викидів і відходів промислового виробництва з подальшою утилізацією відходів, цей напрям вже широко використовується, хоч і не вирішує проблему кардинально. Він полягає в організації очищення стічних вод від домішок, очищення газових викидів від шкідливих речовин, розсіюванні шкідливих викидів в атмосфері, похованні токсичних і радіоактивних відходів.

Другий напрям – розробка таких технологічних процесів, які б в максимальному ступені наближалися до природних процесів в біосфері. Фактично – це безвідходне виробництво.

В даний час повністю безвідходні технологічні процеси можуть бути створені в окремих випадках. Етапи розвитку безвідходної технології наступні:

- розробка способів і устаткування для переробки відходів виробництва і споживання;
- розробка безвідходних технологічних систем і водооборотних циклів;
- створення принципово нових виробничих процесів, що дозволяють виключити або зберегти технологічні стадії, на яких відбувається утворення відходів;
- створення територіально-виробничих комплексів, що мають замкнуту систему матеріальних потоків сировини і відходів усередині територіально-виробничих комплексів.

На сучасному етапі науково - технічного прогресу найбільш реальною є розробка маловідходних технологічних процесів.

Необхідно інакше організовувати виробництво, створювати процеси і експлуатувати діючі підприємства в оптимальних режимах, що володіють високим ступенем інженерно-еколого-економічної досконалості. Головним завданням проекту є створення технології, що відрізняється утворенням малої кількості відходів, і викидів, унаслідок досконалості і особливостей самого процесу.

Коксохімічне виробництво є помітним джерелом забруднення повітряного басейну пилом, газами і різноманітними хімічними речовинами. У газах коксохімічного виробництва, що відходять, міститься пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, сірководень, фенол і різні вуглеводні, зокрема такі шкідливі, як бензпірен. Ідентифікація екологічних аспектів являється постійним процесом, який визначає ступінь впливу діяльності підприємства на навколишнє середовище.

Процес проведення ідентифікації екологічних аспектів включає наступні етапи: ідентифікація всіх екологічних аспектів структурного підрозділу, з оформленням «Реєстру екологічних аспектів підрозділу»; проведення оцінки значимості екологічних аспектів підрозділу; складення «Реєстру значимих екологічних аспектів підрозділу»; на основі «Реєстру значимих екологічних аспектів підрозділу», складення «Реєстру значимих екологічних аспектів ПАТ «ArcelorMittal»».

На основі цехових реєстрів значимих екологічних аспектів, спеціалістами служби охорони навколишнього середовища складається «Реєстр значимих екологічних аспектів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»».

При експлуатації установки по введенню замашеної прокатної окалини у вугільну шихту необхідно керуватися вимогами безпеки та охорони навколишнього природного середовища закладеними у ТУ У 10.1-00190443-032:2006 Шихта вугільна для коксування ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ТУ У 322-228-17-2004 «Окалина вторинних відстійників віджимних та прокатних станів».

У вуглепідготовчому цеху при експлуатації даної установки ідентифіковані наступні екологічні аспекти приведені у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

**Реєстр екологічних аспектів вуглепідготовчого цеху**

№ п/п	Екологічний аспект	Технологічний процес	Джерело утворення аспекта	Найменування інгредієнтів забруднюючої речовини та клас шкідливості (показники, що змінюють свої якісні характеристики)	Кз
<b>Промислові викиди в атмосферу від стаціонарних джерел</b>					
1	Організаційне джерело № 106, 107 Аспіраційна установка на перекритті конвеєра У34А У-34Б дозуюче відділення (1-ша черга)	Транспортування вугільних концентратів	Виділення пилу вугільного в атмосферу	Пил вугільний, ОБУВ – 0,11 мг/м <sup>3</sup>	35
2	Організаційне джерело № 126 Аспіраційна установка на перекритті конвеєра У-34В дозувальне відділення (1-ша черга)	Дозування вугільних концентратів для приготування шихти	Виділення пилу вугільного в атмосферу	Пил вугільний ОБУВ – 0,11 мг/м <sup>3</sup>	40
3	Організаційне джерело № 127 Аспіраційна установка на перекритті конвеєра У-35В дозувальне відділення (2-га черга)	Дозування вугільних концентратів для приготування шихти	Виділення пилу вугільного в атмосферу	Пил вугільний ОБУВ – 0,11 мг/м <sup>3</sup>	40

1	2	3	4	5	6
4	Організаційне джерело № 132 Аспіраційна установка на перекритті конвеєра змішувального відділення	Змішування подрібнених вугільних концентратів для приготування шихти	Виділення пилу вугільного в атмосферу	Пил вугільний ОБУВ – 0,11 мг/м <sup>3</sup>	40
5	Організаційне джерело № 144. Установка утилізації фусів	Утилізація фусів кам'яновугільних у шихту для коксування	Викиди шкідливих речовин при утилізації фусів кам'яновугільних	Аміак, 4 клас Водень ціаністий, 2 клас Сірководень, 2 клас Бензол, 2 клас Нафталін, 4 клас Фенол, 2 клас	90
Викиди в атмосферу від автомобільного транспорту					
6	Викиди від використання автопогрузчика	Вантажний транспорт (автопогрузчик) із дизельним паливом	Спалювання дизельного палива в двигуні автотранспорту	Оксид вуглецю, 4 клас Вуглеводні, 4 клас Сполуки азоту, 2 клас Сірчаний ангідрид, 3 клас Сполуки свинцю, 1 клас	65
7	Відходи резини	Транспортування сировини	Конвеєра відділень ЗСУ та дробарно-дозуючого	4 клас небезпеки	70
8	Чорний лом	Поточні та капітальні ремонти і утримання	ВПЦ	4 клас небезпеки	65

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6
9	Відпрацьовані масла	Експлуатація та технічне обслуговування обладнання	ВПЦ	3 клас небезпеки	60
10	Будівельні відходи	Поточні та капітальні ремонти і утримання	ВПЦ	4 клас небезпеки	75
Використання сировини та природніх ресурсів					
11	Вугільний концентрат	Виготовлення вугільної шихти	ВПЦ	-	0,9015
12	Електроенергія	Забезпечення технологічного процесу	ВПЦ	-	0,9624

Шихта вугільна представляє собою суміш твердих шматків та часток вугілля різних марок, неправильної форми, чорного кольору.

Органічна речовина складається, в основному, з вуглецю (76,0-95,0)%, водню (2,5-6,4)%, кисню (2,5-17,0)%, азоту (1,2-1,8)%, сірки (1,2-3,0)%, фосфору (0,014-0,022)%, які знаходяться у зв'язаному стані.

Основний компонент органічної речовини шихти вугільної – вуглець, пройшов державну реєстрацію як небезпечний фактор та зареєстрований у встановленому порядку.

Вентиляційні викиди в атмосферу повинні підлягати очищенню на пиловловлюючому обладнанні, що відповідають вимогам ДСТУ 3191, ГОСТ 13862, ГОСТ 12.2.115. Викиди в атмосферу повинні відповідати затвердженим ГДК підприємства, встановленим відповідно ГОСТ 17.2.3.02, які забезпечують дотримання ОБУВ вугільного пилу (аерозолі) - 0,1 мг/м<sup>3</sup> в атмосферному повітрі населених місць [21].

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розглянуті основні технологічні прийоми (трамбування, термічна підготовка та внесення органічних добавок) для розширення сировинної бази коксування, підвищення насипної щільності вугільної шихти та поліпшення її спікливості, коксівності, збільшення продуктивності коксових печей та покращення фізико-механічних показників якості коксу.

Зазначено, що перспективним напрямком модифікації властивостей вугільної шихти та металургійних характеристик коксу є внесення в якість компонента вугільної суміші органічних добавок.

На підставі літературного огляду, враховуючи масштабність утворення органічних відходів, їх склад і якість, а також беручи до уваги, вимоги до якості шихти й коксу, запропоновано технологію утилізації замаасленої прокатної окалини в суміші з відпрацьованими маслами прокатного виробництва.

Введення суміші прокатної окалини й відпрацьованих масел у вугільну шихту з метою утилізації являє собою процес комплексної переробки вторинної сировини з використанням цінних компонентів, які вона містить. При цьому не утворюються відходи.

Технологія введення відходів прокатного виробництва у вигляді масляної суспензії дозволяє збільшити насипну щільність шихти, вихід товарних продуктів коксохімічного виробництва.

Встановлено, що введення прокатної окалини в кількості 0,5% сприяє поліпшенню показників міцності коксу ( $M_{25}$  зростає на 0,5%,  $M_{10}$  зменшується на 0,3%).

Доведено, що запропонована технологія – екологічно безпечний спосіб переробки вуглецевмісних відходів та використання їх в якості модифікуючих добавок до сировини для виробництва матеріалів з поліпшеними фізико-хімічними властивостями. Піроліз у коксових печах

вирішує проблему утилізації та забезпечує поліпшення якості й збільшення виходу коксу.

Використовуючи відходи, знижуючи споживання природних ресурсів і шкідливий вплив сховищ відходів на навколишнє середовище, можна вирішити велике коло економічних, екологічних і соціальних проблем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зашквара В.Г. Підготовка вугілля до коксування. М: Металургія, 1967. 339 с.
2. Зашквара В.Г., Дюканов О.Г. Підготовка вугілля до коксування. М: Металургія, 1981. 59 с.
3. Зеленский О.И. Современные направления использования неспекающих добавок в производстве кокса. *Углекимический журнал*. 2013. № 3. С.21-28.
4. Борисенко А.Л., Авилова Н.И., Близнюкова М.И., Малахов Т.Я. Исследование состава и физико-химических свойств нетехнологических отходов коксохимического производства. *Углекимический журнал*. 2009. № 3–4. С. 101–104.
5. Кузниченко В.М., Малько Н.И., Кубрак С.С., Кривонос В.В, Данилов А.Б., и др. Влияние коксовой мелочи на прочность и выход кокса при насыпной и трамбованной загрузке. *Углекимический журнал*. 2013. № 3. С.8–16.
6. Романюк И.В., Бакун Л.Д., Борисенко А.Л., Малыш А.С. Обращение с отходами на ПАО «ЕВРАЗ Баглейкокс». *Углекимический журнал*. 2012. № 3–4. С. 35–43.
7. Егоров В.М., Гончаров А.В. Совместимость каменноугольных фусов как добавки к угольной шихте с другими органическими отходами. *Углекимический журнал*. 2000. № 3–4. С. 11–14.
8. Гуляев В.М., Панченко Н.И., Трикило А.И. Новый способ уплотнения угольных шихт как метод снижения вредных выбросов при коксовании. *Углекимический журнал*. 2007. № 3–4. С. 20–24.
9. Борисенко А.Л. Термическое обезвреживание в коксовых печах отходов коксохимических предприятий. *Углекимический журнал*. 2009. № 5–6. С. 59–69.

10. Борисенко А.Л., Авилова Н.И., Близнюкова М.И., Смирнова Т.П. Использование отходов коксохимического производства в составе водно-масляных эмульсий для подачи в угольную шихту. *Углекимический журнал*. 2008. № 3–4. С. 71–76.
11. Шендрик Т.Г., Кучеренко В.А., Хабарова Т.В., Тамаркина Ю.В. Термолиз смесей бурого угля и нефтяных отходов. *Углекимический журнал*. 2005. № 1–2. С. 45–49.
12. Ковалев Е.Т., Кузнецова Л.С., Малахова Т.Я., Борисенко А.Л., Белошапка И.В., Кучма Н.В. К вопросу образования и использования полимеров бензольного отделения. *Углекимический журнал*. 2002. № 5–6. С. 43–46.
13. Z. Liu, S. Shi, Y. Li, Coal liquefaction technologies-development in China and challenges in chemical reaction engineering [J]. *Chem. Eng. Sci.* 2010. Vol.65 (1). P. 12–17.
14. Shuo Sun, Zhihui Chen, Youqing Wu, Sheng Huang, Yonghui Bai, Shiyong Wu. Study on interaction and mechanisms of direct coal liquefaction residue and gas coal in coal blending during coking. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2022. Vol.167 (105629).
15. Zubkova V., Strojwas A., Kaniewski M., Ziomber S. Investigation of influence of the additives of expired paracetamol (PR) and naproxen (NP) on the changes in volume of heated charge of a higher rank coal. *Fuel*. 2018. Vol. 217. P. 605–616.
16. Анотація про виконання НДР «Розробка науково-обґрунтованих параметрів оптимізації складів шихт, раціональних способів їх підготовки і технологічних режимів коксування, а також дослідне визначення хімічного потенціалу для планування виходів основних продуктів коксування в умовах вугільної сировинної бази КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг»», договір №179.2008, УДНДВІ.
17. Анотація про виконання НДР «Розробка рекомендацій щодо використання імпортного вугілля у сировинній базі коксування

- коксхімічного підприємства ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», договір №216.2007, УДНДВІ.
18. Дослідно - промислова установка по введенню суміші замасленої прокатної окалини та відпрацьованих масел у вугільну шихту (звіт). Кривий Ріг, 2002. 16с.
19. ТЛЗ-КХП-ОПОМ-01.000 Вихідні данні на проектування «Дослідно - промислова установка по введенню суміші обмасленої прокатної окалини та відпрацьованих масел у вугільну шихту»: ВАТ «Холдинг-Компанія «Інтернет», 2002. 22с.
20. Звіт по результатам роботи: «Дослідно-промислові випробування технології утилізації обмасленої прокатної окалини на КХВ і використання коксу обзаліженого у доменному виробництві». – КДГМК «Криворіжсталь», 2002. 11с.
21. ТР-228-КХ-04-2003 Постійний технологічний регламент вуглепідготовчого цеху КХВ, 2003.- 115 с.
22. Бондар Н.М. Економіка підприємства: Навч. Посіб. К.: Видавництво А.С.К., 2004. 400 с.

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

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

10.01.2025



В. Пісна

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ  
 МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Здобувачки Пісної Вікторії Вячеславівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-23-м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні  
 добавки відпрацьованої прокатної окалини

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	73;
таблиць	12;
схем і рисунків	7;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	-.

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** магістра

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методу комплексної переробки замащеної прокатної окалини з метою утилізації відходів та забезпечення якості коксу, що задовольняє вимоги сучасної доменної плавки.

Розглянуті основні технологічні прийоми (трамбування, термічна підготовка та внесення органічних добавок) для розширення сировинної бази коксування, підвищення насипної щільності вугільної шихти та поліпшення її спікливості, коксівності, збільшення продуктивності коксових печей та покращення фізико-механічних показників якості коксу.

В кваліфікаційній роботі на основі досліджених літературних джерел та аналізу даних лабораторних та дослідно-промислових випробувань запропоновано технологію утилізації замащеної прокатної окалини в суміші з відпрацьованими маслами прокатного виробництва.

Надано рекомендації щодо кількісних характеристик та параметрів процесу внесення зазначених відходів у вугільні суміші.

### **Недоліки кваліфікаційної магістерської роботи**

*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 магістерської роботи, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами**

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

**Можливість використання кваліфікаційної магістерської роботи**

*Розроблені рішення та рекомендації по утилізації вуглецевмісних відходів та використання їх в якості модифікуючих добавок до сировини можуть бути використані в умовах вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»*

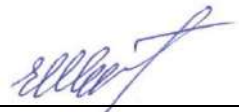
**Оцінка кваліфікаційної магістерської роботи** добре/80/В

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав. кафедри, к.т.н, доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 15 » січня 2025 р.

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

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

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;  
 навчальної/наукової праці;  
 наукових матеріалів

*Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні добавки  
відпрацьованої прокатної окалини*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

*Пісна Вікторія Вячеславівна*

(ПІБ)

*кафедра Хімічних технологій та інженерії*

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 73 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 2,85 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

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

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

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «14» січня 2025 р. протокол № 8.

Керівник підрозділу



(підпис)

К. Шмельцер

Дата «14» січня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ДОВІДКА**  
про підготовку здобувача-випускника

Пісної Вікторії Вячеславівни  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії  
Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна магістерська робота

Тема кваліфікаційної роботи Модифікація властивостей вугільної шихти та  
коксу при використанні добавки  
відпрацьованої прокатної окалини

Керівник кваліфікаційної роботи: зав. кафедри, к.т.н. Шмельцер К.О.  
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консульта	Примітка
1	Аналітична частина	Шмельцер К.О.	зарах	15.01	<i>[Signature]</i>	
2	Основна частина	Шмельцер К.О.	зарах	15.01	<i>[Signature]</i>	
3						
4						

Завідувач кафедри

*[Signature]*  
(підпис)

К.О. Шмельцер  
(ініціали, прізвище)

« 15 » січня 2025 р.

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

**РЕЦЕНЗІЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра  
(бакалавра, магістра)

Здобувачки Пісної Вікторії Вячеславівни  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Модифікація властивостей вугільної шихти та коксу при використанні добавки відпрацьованої прокатної окалини
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Вибір та обґрунтування методу підвищення якості металургійного коксу при бази внесенні добавки відпрацьованої прокатної окалини з метою розширення сировинної коксування
Переваги кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
Проаналізовано основні технологічні прийоми (трамбування, термічна підготовка та внесення органічних добавок) для розширення сировинної бази коксування, підвищення насипної щільності вугільної шихти та поліпшення її спікливості.
Надано рекомендації щодо кількісних характеристик та параметрів процесу внесення відпрацьованої прокатної окалини у вугільні суміші.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> <small>(бакалавра, магістра)</small>
В роботі не акцентовано, чи залежать параметри процесу та кількість добавки окалини від компонентного складу та властивостей вугільних шихт, чи є наведені рекомендації універсальними для коксохімічних підприємств.
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент <u>Доседа Каталія Дмитроївна</u> <small>(прізвище, ім'я та по-батькові)</small>

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

Доседа  
(підпис)