

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	заочна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Соколенко Альони Олегівни

на тему Модифікація властивостей вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси

за матеріалами ВПЦ ПрАТ «Запоріжжкокс»

науковий керівник

к.т.н.

Десна Н.А.

(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 14.01.2025 р. № 8

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

ДУЕТ – 2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри **Хімічних технологій та інженерії**

(підпис)
 « 15 » січня 20 25 року
 доцент, к.т.н.
 Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання, прізвище-ініціали)

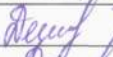



ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Соколенко Альоні Олегівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Модифікація властивостей вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси
 керівник кваліфікаційної роботи магістра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом вищого навчального закладу №796-ст від «21» листопада 2024 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2025 р.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Техніко-економічні показники роботи вуглепідготовчого цеху ПРАТ «Запоріжжкокс»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - 4.1 Аналітична частина: Вивчення сучасних вимог до якості коксу. Аналіз сировинної бази коксування коксохімічних підприємств України. Розгляд технологій, що використовуються для підвищення якісних характеристик коксу та розширення сировинної бази коксування.
 - 4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічних прийомів для підвищення насипної маси вугільної шихти з метою підвищення якості коксу. Впровадження обраних технологій в працюючих вуглепідготовчих цехах та поєднання різних прийомів для досягнення мети. Дослідження особливостей експлуатації вуглепідготовчого цеху при застосуванні таких прийомів, на прикладі ПРАТ «Запоріжжкокс». Вивчення екологічних аспектів роботи вуглепідготовчого цеху.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач


(підпис)

Соколенко А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Десна Н.А.
(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Соколенко А.О. Модифікація властивостей вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси. – Рукопис.

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

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню технологічних прийомів для підвищення насипної маси вугільної шихти з метою покращення якості коксу та оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів.

У випускній роботі проаналізовано сучасні вимоги до якості коксу, досліджено сировинну базу коксохімічних підприємств України, а також розглянуто технології, що використовуються для підвищення якісних характеристик коксу. Обґрунтовано вибір та впровадження технологічних прийомів, які забезпечують збільшення насипної маси вугільної шихти.

Практична частина роботи виконана на прикладі ПрАТ «Запоріжжкокс», де досліджено особливості експлуатації вуглепідготовчого цеху за впровадження запропонованих технологій. Також розглянуто екологічні аспекти роботи підприємства та їх вплив на навколишнє середовище.

Результати дослідження дозволяють підвищити ефективність роботи коксохімічних підприємств, покращити якість коксу та знизити виробничі витрати. Запропоновані рішення можуть бути використані для подальшого вдосконалення технологічних процесів на підприємствах галузі.

Ключові слова: вугільна шихта, насипна маса, коксування, якість коксу, технологічні прийоми, екологічні аспекти, ПрАТ «Запоріжжкокс».

ЗМІСТ

ВСТУП	9
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1. Сучасні вимоги до якості коксу	11
1.2. Аналіз сировинної бази виробництва коксу в Україні	16
1.3. Технології покращення якості характеристик коксу	20
1.4. Розширення сировинної бази коксу	24
ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Вибір технологічних прийомів для підвищення насипної маси вугільної шихти	29
2.1.1 Регулювання гранулометричного складу	30
2.1.2 Зміна вологості шихти	33
2.1.3 Застосування сполучних добавок	36
2.1.4 Механічне ущільнення шихти	37
2.1.5 Оптимізація процесів змішування	38
2.1.6 Моделювання процесів підготовки вугільної шихти	40
2.2 Обґрунтування технологічних рішень для поліпшення якості коксу	41
2.2.1 Покращення якості вугільної шихти	41
2.3 Дослідження роботи вуглепідготовчого цеху на прикладі ПрАТ «Запоріжжкокс»	42
2.3.1 Відсів дрібних класів вугілля	42
2.3.2 Регулювання вологості шихти	54

2.4. Впровадження технологій і комбінування прийомів для досягнення мети	56
2.5 Екологічні аспекти роботи вуглепідготовчого цеху	61
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГОСТ – міждержавний стандарт;

ДСТУ – державний стандарт України;

КХВ – коксохімічне виробництво;

КХЗ – коксохімічний завод;

ДП «УХІН» – Державне підприємство «Український державний науково–дослідний вуглехімічний інститут»;

ВПЦ – вуглепідготовчий цех;

ЦЗФ – центральна збагачувальна фабрика;

ПрАТ – приватне акціонерне товариство;

АСУ ТП – автоматизовані системи управління технологічними процесами

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку металургійної промисловості України особливого значення набувають питання підвищення ефективності виробництва коксу, який є основним технологічним паливом для доменного процесу. Одним із ключових завдань підприємств коксохімічної галузі є забезпечення високої якості кінцевого продукту за одночасного зниження виробничих витрат та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Кокс є одним із ключових продуктів металургійної промисловості, що використовується як відновник та енергоносіє у доменному виробництві. Якість коксу безпосередньо впливає на технологічні показники виплавки чавуну, продуктивність доменних печей і загальну ефективність металургійного процесу. Тому забезпечення стабільної якості коксу є важливим завданням для підприємств металургійної галузі.

Коксування вугілля є складним фізико-хімічним процесом, результат якого значною мірою залежить від якості вугільної шихти. Висока насипна маса шихти сприяє підвищенню щільності укладання частинок, що, у свою чергу, покращує теплопровідність, знижує час коксування та забезпечує більш рівномірний розподіл температур у коксованому шарі. Ці фактори безпосередньо впливають на міцність, пористість та інші експлуатаційні характеристики коксу, що використовується в доменному виробництві [1-4].

Актуальність даної теми зумовлена необхідністю впровадження новітніх технологічних рішень для оптимізації параметрів вуглепідготовчих процесів. Збільшення насипної маси вугільної шихти дозволяє значно покращити якість коксу та підвищити ефективність роботи підприємств коксохімічної галузі. Це є важливим завданням як для вітчизняної металургії, так і для економіки України загалом.

Мета дослідження полягає у виборі та обґрунтуванні технологічних прийомів для підвищення насипної маси вугільної шихти, що сприятимуть

покращенню якості коксу та підвищенню ефективності роботи вуглепідготовчих цехів.

Для досягнення мети в роботі було поставлено такі завдання:

- ✓ проаналізувати сучасні вимоги до якості коксу;
- ✓ дослідити сировинну базу коксохімічних підприємств України;
- ✓ розглянути технології, які застосовуються для підвищення якості коксу;
- ✓ обґрунтувати вибір технологічних прийомів для збільшення насипної маси вугільної шихти;
- ✓ оцінити ефективність впровадження запропонованих технологій на прикладі ПрАТ «Запоріжжкокс»;
- ✓ вивчити екологічні аспекти роботи вуглепідготовчих цехів.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси підготовки вугільної шихти до коксування. Предметом дослідження виступають методи та прийоми збільшення насипної маси вугільної шихти для забезпечення високої якості коксу.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, експериментальні дослідження на діючих підприємствах, а також розрахунково-аналітичні підходи до обґрунтування вибраних технологій.

Практична значущість роботи полягає у можливості впровадження отриманих результатів у виробничий процес підприємств коксохімічної галузі для покращення якості кінцевої продукції та зниження її собівартості.

Таким чином, результати дослідження матимуть вагоме значення для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної металургії та забезпечення її сталого розвитку.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасні вимоги до якості коксу

Кокс – це високоякісний продукт, отриманий у результаті коксування вугілля, який є основним енергоносієм і відновником у доменному виробництві. Сучасні вимоги до якості коксу зумовлені його роллю у забезпеченні стабільності виробничих процесів та ефективності роботи доменних печей. Вимоги до властивостей коксу поліпшеної якості згідно з ТУ У 23.1-00190443-086 наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Вимоги до властивостей коксу поліпшеної якості

Показники		Чисельні значення для коксу, %			Методи вимірювання
		КДП1	КДП2	КДП3	
Зольність сухої маси A^d		10,7	11,0	11,5	ГОСТ 11022
Сірчистість загальна сухої S_t^d		0,85	1,00	1,2	ДСТУ 3528 ГОСТ 2059
Вологість робоча W_t		6	5	5	ДСТУ ISO 579
Механічна міцність	M_{40}	78	77	76	ДСТУ 2206
	M_{25}	88	87	86	
	M_{10}	7,2	7,5	7,6	
Вміст класів крупності	>80 мм	15	15	15	ГОСТ 5954.1
	<25 мм	3,5	4,0	4,0	
Реакційна здатність CRI		29	34	35	ДСТУ 4703

Продовження табл. 1.1

Після реакційна міцність CSR	56	48	45	ДСТУ 4703
Вихід летких речовин з пальної маси V^{daf}	0,8	1,0	1,2	ГОСТ 6382

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5].

Основними критеріями оцінки якості коксу є його фізико-хімічні, механічні та технологічні властивості.

1. Фізико-хімічні властивості:

Вуглецевий склад: Вміст вуглецю має бути максимально високим ($\geq 85-90\%$), оскільки це впливає на відновлювальну здатність коксу.

Зольність – рівень золи не повинен перевищувати 10-12 %, оскільки це знижує продуктивність печі та підвищує витрати флюсів. Зольність коксу характеризує вміст в ньому мінеральних речовин, баластних або шкідливих для доменного процесу. Зі збільшенням зольності коксу в доменну піч вноситься додаткова кількість цих речовин, які займають певний обсяг та потребують додаткових витрат теплоти для здійснення фазових і термохімічних перетворень. Тому наслідком є зростання витрати коксу і зменшення продуктивності. Згідно з нормативами зростання зольності коксу на 1 % призводить до збільшення витрати коксу на 1,3 % та зменшення продуктивності доменної печі на таку ж саму величину [5].

Вологість – зазвичай допускається в межах 3-5 %. Занадто висока вологість впливає на калорійність коксу. Волога коксу є баластом, який надходить в доменну піч. Цей баласт займає певний обсяг та потребує додаткової витрати тепла на випаровування. Внаслідок цього витрата коксу зростає, а продуктивність доменної печі зменшується.

Сірчистість – вміст сірки має бути мінімальним ($\leq 0,7\%$), щоб уникнути забруднення металу та негативного впливу на екологію [1]. Сірка є найшкідливішим компонентом, який вноситься з коксом в доменну піч. В

сплавах заліза сірка входить до складу сульфїду заліза, що, в свою чергу, утворює із залізом евтектичну суміш. Ця суміш починає плавитися при температурах червоного каління та призводить до червоноламкості металевих виробів. При збільшенні кількості сірки, яка надходить з коксом в доменну піч, потрібна додаткова кількість флюсів для хімічного зв'язування хоча б частини її. Наслідком цього є зростання витрати коксу та зниження продуктивності. Згідно з нормативами, збільшення сірчистості коксу на 0,1 % призводить до зростання його витрати на 0,3 % та до зменшення на таку ж величину продуктивності доменної печі. Крім того, погіршується якість чавуну.

Спикливість – не все кам'яне вугілля придатне для одержання коксу, а тільки те, яке володіє здатністю спікатися. Здатність спікатися – властивість вугілля при нагріванні без доступу повітря утворювати з розрізнених зерен вугілля твердий залишок у вигляді міцних шматків. Цією властивістю володіє вугілля марок Г, Ж, К, ПС, яке при нагріванні без доступу повітря при температурі 350-450 °С переходить у рідкий, текучий (пластичний) стан. Однак властивість вугілля спікатися не є достатньою для одержання металургійного коксу [7].

Коксівність – здатність вугілля самостійно або в суміші з іншим вугіллям за певних умов підготовки й нагрівання до високих температур утворювати грудковий пористий матеріал – кокс, що володіє певною крупністю й механічною міцністю.

2. Механічні властивості

Міцність на стиск – кокс повинен витримувати високі навантаження у доменній печі без подрібнення. Для оцінки використовують показник CSR (Coke Strength after Reaction), який має бути ≥ 60 %. Достатній опір коксу подрібнюючим зусиллям за показниками M_{25} або M_{40} дає можливість більшій частині коксу досягти, не руйнуючись, зони фурм, збільшити ступінь процесів непрямого відновлення, що сприяє підвищенню продуктивності доменної печі та зменшенню витрати коксу. Згідно із нормативами, при зростанні показника M_{25}

на 1 % витрата коксу зменшується на 0,6 %. На таку ж величину зростає продуктивність доменної печі.

Стійкість до стирання (M_{10}) – відображає кількість дрібних частинок, що утворюються під час транспортування та використання. Ідеальне значення – ≤ 10 %. Підвищена стиранність коксу за показником M_{10} призводить до збільшення кількості дрібних зерен в засипу доменної шихти та зростання його гідравлічного опору. Наслідком цього є збільшення витрати коксу та зменшення продуктивності печі. Згідно із нормативами, при зменшенні показника M_{10} на 1 % витрата коксу зменшується на 2,8 %. На таку ж величину зростає продуктивність доменної печі.

Стійкість до дроблення (M_{40}) – показує частку коксу, який зберігає крупність після механічного впливу ($\geq 75-80$ %) [2].

3. Технологічні властивості

Реакційна здатність (CRI – Coke Reactivity Index) – визначає схильність коксу до взаємодії з вуглекислим газом. Оптимальний рівень – 20-30 %. Для того, щоб якнайбільша частина коксу доходила до зони фурм, він повинен мати невелику реакційну здатність та достатню міцність в умовах впливу високих температур та газоподібних окиснювачів. Це дасть можливість зменшити витрату коксу за рахунок використання його заміників, поліпшити використання корисного обсягу доменної печі та підвищити її продуктивність. При оцінці впливу на роботу доменних печей показників індексу реакційної здатності (CRI) та міцності залишку коксу після реакції (CSR) слід мати на увазі, що для їх покращення (зменшення реакційної здатності та збільшення післяреакційної міцності) слід зменшувати зольність та сірчистість коксу і шихти, з якої він отриманий. Ці показники вже враховані в нормативах витрати коксу.

Теплотворна здатність – високий рівень тепловиділення є критично важливим для стабільної роботи доменної печі. Середнє значення – 28-30 МДж/кг.

Газопроникність – структура коксу має забезпечувати ефективний потік газів через доменну піч. При нагріванні вугілля без доступу повітря відбувається його розкладання з утворенням газоподібних, рідких продуктів і твердого вуглецевого залишку. Газоподібні й рідкі продукти називаються леткими речовинами. Вихід летких речовин з коксу характеризує його ступінь готовності, тобто завершеності процесів коксоутворення. Кокс з меншими значеннями виходу летких речовин має кращі технологічні властивості. Вихід летких речовин є одним з важливих показників, що характеризують технологічні властивості вугілля. Цей показник значною мірою визначає віднесення вугілля до тієї або іншої групи або марки в класифікації.

4. Додаткові вимоги

Гомогенність – кокс повинен мати однорідний розмір і структуру для рівномірного розподілу у шахті печі. Найбільші куски коксу (> 80 мм) є найменш міцними, тому що мають велику кількість нереалізованих центрів термомеханічних напружень. Такі куски в доменній печі руйнуються в першу чергу, що призводить до збільшення кількості дрібних зерен в засипу доменної шихти та до зростання його гідравлічного опору. Наслідком цього є збільшення витрати коксу та зменшення продуктивності печі. Згідно із нормативами, при зменшенні вмісту класу більше 80 мм в коксі на 1 % витрата коксу зменшується на 0,2 %. На таку ж величину зростає продуктивність доменної печі. Засміченість коксу дрібним класом менше 25 мм призводить до збільшення кількості дрібних зерен в засипу доменної шихти та зростання його гідравлічного опору. Наслідком цього є збільшення витрати коксу та зменшення продуктивності печі. Тому перед завантаженням в скіп дрібні класи з коксу, як правило, додатково відсіюють, а це є непродуктивними втратами доменного палива.

Екологічність: Зниження шкідливих викидів під час виробництва коксу та використання у металургії [3].

Сучасні вимоги до якості коксу є ключовими для досягнення економічної ефективності та екологічності у металургійному виробництві, що стимулює постійне вдосконалення технологій його виробництва.

1.2 Аналіз сировинної бази виробництва коксу в Україні

Аналіз стану вугільної промисловості України та сучасних тенденцій складання шихт на коксохімічних заводах чітко висвітлює необхідність вирішення проблеми раціонального використання вітчизняного вугілля [6].

Україна має значний потенціал у видобутку вугілля, яке є основною сировиною для виробництва коксу, необхідного в металургійній промисловості. Однак сучасний стан сировинної бази характеризується низкою викликів і особливостей, які впливають на її використання та перспективи розвитку.

Вугілля для коксування видобувається переважно на території Донецького, Луганського та частково Дніпропетровського регіонів. Основними вугледобувними басейнами є:

✓ Донецький басейн (Донбас): історично основний постачальник коксівного вугілля, що характеризується високою зольністю та вмістом сірки.

✓ Львівсько-Волинський басейн: видобуток обмежений через невисоку якість вугілля для коксування.

✓ Дніпровський басейн: запаси вугілля меншого масштабу, однак використовуються як частина вугільного балансу.

Через військові дії на сході України доступ до основних вугільних родовищ значно обмежений, що спричинило дефіцит якісного коксівного вугілля.

Українське вугілля для коксування має ряд специфічних властивостей:

- висока зольність (10-25 %), що вимагає попереднього збагачення.
- підвищений вміст сірки (до 1,5 %), що потребує додаткового очищення.
- обмежений вихід летких речовин (15-35 %), що впливає на якість коксу.

Через ці фактори, для отримання якісного коксу необхідно застосовувати суміші з імпортом вугіллям. Значна частка коксівного вугілля імпортується з таких країн, як:

- США (вугілля з низькою зольністю і сіркою).
- Австралія (висока міцність коксу).
- Казахстан (більш доступне вугілля з прийнятними характеристиками).

Імпорт дозволяє компенсувати недоліки українського вугілля, однак підвищує собівартість виробництва коксу. Вартість імпорту вугілля в 2017 р. – 2,43 млрд доларів (за 11 місяців). Це майже вдвічі (у 1,87 рази) більше порівняно із тим же періодом 2016 р. За даними Державної фіскальної служби України, головним постачальником стала Росія – 1,37 млрд доларів (56,4 %); друге місце за США – 603,8 млн дол. (24,8 %); третє за Канадою – 149,9 млн доларів (6,2 %). З інших країн Україна імпортувала вугілля на 30,7 млн доларів. За даними Міненерговугілля, за 10 місяців 2017 р. на вітчизняні ТЕС і ТЕЦ у фізичному вимірі було поставлено 3,37 млн т імпортного вугілля: з Росії – 2,59 млн т (76,75 %); із ПАР – 550 200 т (16,3 %); із Польщі – 119 000 т (3,5 %); із США – 114 500 т (3,4 %).

Щодо способу постачання, то 70 % – це залізничний транспорт. Морські перевезення використовуються тільки при імпорті із США та ПАР через порт "Південний". За 2017 р. він прийняв 16 суден для державних і приватних компаній загальним обсягом близько 1 млн т. На жаль, інші вітчизняні порти неспроможні забезпечити перевалку таких вантажів. Зазначені обставини негативно впливають на собівартість подальшої продукції, оскільки використовується більш дорогий вид транспорту – залізничний, замість найдешевшого – морського. Торгова блокада окупованих територій з початку 2017 р. створює суттєву загрозу енергетичній безпеці країни, оскільки на окупованій території опинились як антрацитові, так і коксівні й газові шахти [9].

Задля наочності, на рис. 1.1 порівнюємо динаміку обсягів видобутку вугілля кам'яного, виробництва коксу, балансів коксівного вугілля та коксу в 2011–2017 рр.

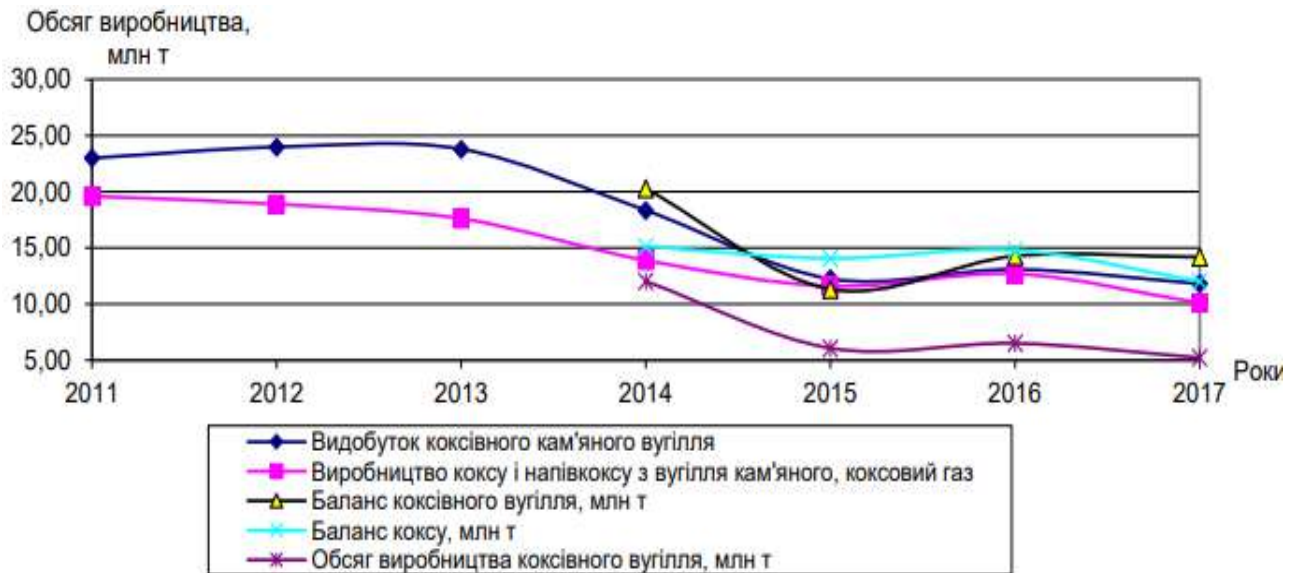


Рис. 1.1 Динаміка обсягів видобутку вугілля кам'яного, виробництва коксу, балансів коксівного вугілля та коксу в 2011–2017 роках.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Систематизація вугілля за окремими відмітними ознаками і властивостями являє собою їхню класифікацію. Основними параметрами технологічної класифікації вугілля для коксування є вихід летких речовин (V^{daf}), товщина пластичного шару ("Y") і показник відбиття вітриніту (R_0). Згідно ДСТУ 3472-96 "Вугілля буре, кам'яне та антрацит (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Класифікація кам'яного вугілля за марками

Марка вугілля	Позначення марки	Класифікаційні показники				
		Середній показник відбиття вітриніту R_0 , %	Вихід летких речовин V^{daf} , %	Товщина пластичного шару "Y", мм	Індекс Рога RI , од.	Теплота згоряння Q^{daf} , МДж/кг

Продовження таб. 1.2

Буре	Б	<0,40	Від 50 до 70 включно	—	—	<24,0
Довгополум'яне	Д	Від 0,40 до 0,60 включно	35»50»	<6	—	—
Довгополум'яне газове	ДГ	»0,50»0,80»	»35»48»	Від 6 до 9 включно	—	—
Газове	Г	»0,50»1,00»	»33»46»	»10»16»	—	—
Жирне	Ж	»0,85»1,20»	»28»36»	»17»38»	—	—
Коксівне	К	»1,21»1,60»	»18»28»	»13»28»	—	—
Піснувате спікливе	ПС	»1,30»1,90»	»14 »22»	»6»12»	Від 13 до 50 включно	—
Пісне	П	»1,60»2,59»	»8»18»	<6	<13	Від 35,2 до 36,5 включно
Антрацит	А	»2,60»5,60»	<8	—	—	<35,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8].

На сучасних КХЗ для коксування використовують вугільну шихту, що включає вугілля окремих марок у співвідношенні, %: Г – 30-35; Ж – 25-35; К – 10-15; ПС – 10-20. Вугільна шихта здатна при коксуванні забезпечити виділення достатньої кількості газоподібних летких продуктів коксування й одержання міцного монолітного твердого залишку – коксу, що задовольняє сучасний доменний процес.

Вугілля Донецького басейну, яке становить основу вугільних шихт коксохімічних заводів України, характеризуються легкою й середньою збагачуваністю, підвищеним вмістом сірки (до 4,4 % мас.) і зниженим вмістом азоту (до 1,6 % мас). У зв'язку з тенденцією до зменшення виробництва коксу в

Донбасі й Придніпров'ї, відпрацюванням кращих вугільних шарів видобуток вугілля для коксування в Донбасі знижується.

В Україні запаси добре спікливого і коксівного вугілля марок Ж і К практично вичерпані на досягнутих глибинах (600-800 м – це середня глибина шахт у Донбасі). Є запаси названого вугілля на більш глибоких горизонтах – 1000 і більше метрів. Будуються шахти "Глибока-1" – "Глибока-5". Наприклад, запуск цих шахт був намічений в 1995 році, але на сьогоднішній день жодна така шахта з 10 не працює. Видобуток вугілля на таких глибинах пов'язаний з наявністю техніки нового покоління, здатної працювати в умовах підвищених тисків і температур [8].

Українська сировинна база стикається з такими проблемами:

- ✓ зниження доступу до родовищ через військові дії.
- ✓ зношеність інфраструктури вугільних шахт.
- ✓ необхідність модернізації збагачувальних фабрик для підвищення якості сировини.

Для поліпшення ситуації необхідно:

- інвестувати у розвиток збагачувальних технологій.
- розширити геологорозвідку нових родовищ.
- застосовувати ефективніші схеми змішування вугілля з імпортною сировиною.

Україна має значний потенціал для забезпечення сировинної бази коксового виробництва, однак якість вітчизняного вугілля вимагає суттєвого доопрацювання. Використання сучасних технологій збагачення, диверсифікація постачання та залучення інвестицій у видобувну галузь є ключовими умовами для забезпечення сталого розвитку металургійного комплексу.

1.3 Технології покращення якості характеристик коксу

Якість коксу безпосередньо впливає на ефективність доменного виробництва, тому сучасні металургійні підприємства активно впроваджують технології для покращення його фізико-хімічних та механічних характеристик. Основні напрями вдосконалення охоплюють процеси підготовки сировини, технології коксування, а також методи післякоксування.

Попередня підготовка сировини. Ефективна підготовка вугільної шихти – ключовий етап у забезпеченні якісного коксу [14]. Основні технології:

1. Збагачення вугілля – видалення золи та сірки за допомогою фізико-хімічних методів (гравітаційне збагачення, флотація). Це дозволяє знизити зольність до 8-10 % і покращити теплотворні властивості.

2. Змішування різних марок вугілля – формування оптимальної шихти шляхом змішування низькоякісного місцевого вугілля з імпортованими марками. Це підвищує міцність і знижує реактивність коксу.

3. Брикетування шихти – підвищення щільності вугільної маси для рівномірного коксування.

Технології коксування. Інновації в процесі коксування спрямовані на поліпшення механічних властивостей коксу та зменшення впливу на довкілля.

1. Контроль температури і тиску в камерах коксування – оптимальна швидкість коксування (до 1000-1100 °C) знижує утворення тріщин у коксі [15].

2. Введення добавок у шихту – використання органічних і неорганічних домішок, таких як смоли, нафтовий кокс або модифікатори, для покращення міцності та реакційної здатності.

Швидкісне охолодження коксу – використання сухого гасіння (замість мокрого) для збереження механічних характеристик і зниження втрат теплотворної здатності. Сухе гасіння коксу є прогресивною енергозберігаючою технологією, яка дозволяє отримувати кокс із стабільною низькою вологістю, поліпшувати практично всі інші показники його якості, використовувати теплоту розпеченого коксу для отримання вторинних енергоресурсів, повністю

забезпечувати потреби коксохімічного підприємства в парі та електроенергії, ліквідувати викиди забруднюючих речовин в атмосферу з гасильної вежі.

Поліпшення якості коксу при використанні сухого гасіння досягається внаслідок додаткового витримування коксу в форкамері, що збільшує тривалість процесів термічного синтезу в органічній масі коксу, сприяє зростанню ступеня структурної впорядкованості коксового матеріалу. Додаткові механічні навантаження на кокс в форкамері та камері гасіння сприяють реалізації наявних в коксі центрів термомеханічних напружень та тріщиноутворень, що дає можливість поліпшити ситовий склад та міцність коксу.

Під час перебування коксу в камері гасіння відбуваються процеси часткової газифікації органічної маси (рис. 1.2). В першу чергу, реакції газифікації відбуваються на ділянках коксу з дефектами структури. Наслідком цього є зменшення реакційної здатності коксу сухого гасіння. Загалом сухе гасіння коксу дозволяє поліпшити його міцність за показником M_{25} (M_{40}) на 4-6 %, за M_{10} на 0,3 %, вміст класу більше 80 мм в коксі знижується на 3-4 %, засміченість класом менше 25 мм зменшується на 0,1-0,2 %, показник реакційної здатності CRI зменшується на 3-5 %, а післяреакційна міцність CSR зростає на 5-8 % [6].

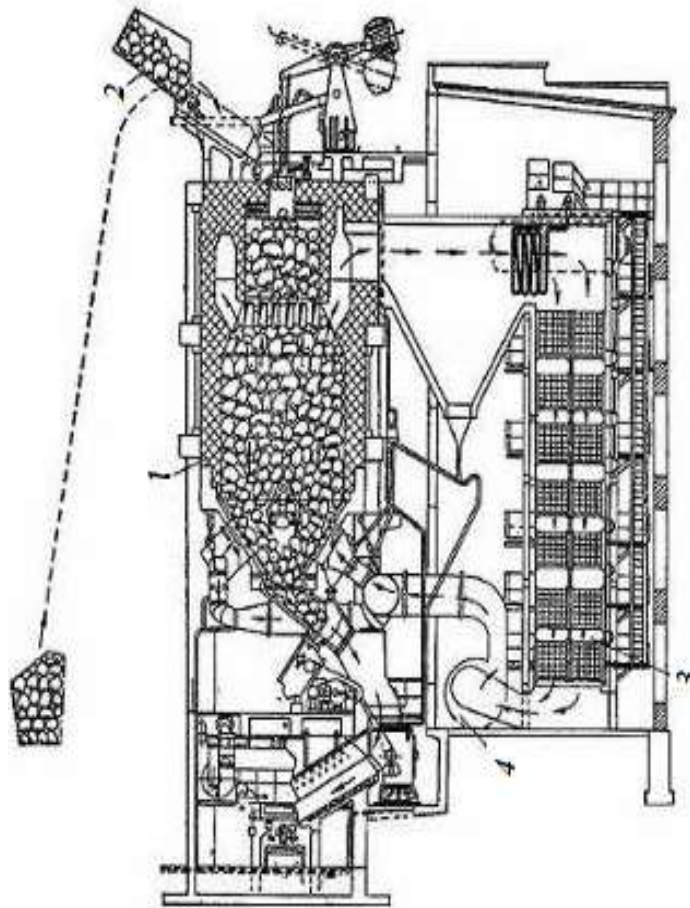


Рис. 1.2 Установа сухого гасіння коксу

1 – гасильний бункер, 2 – скіповий підйомник, 3 – котел КСТ-80,
4 – димосмок.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14].

Методи післякамерної обробки коксу. На завершальному етапі коксу надають додаткові властивості за допомогою таких технологій:

1. Обробка коксу газами – експозиція коксу в атмосфері азоту або водню для зменшення його реакційної здатності (CRI) та покращення міцності після реакції (CSR).
2. Інфрачервона або плазмова обробка – підвищення поверхневої міцності коксу шляхом термічного впливу.
3. Імпрегнація коксу – насичення пор коксу спеціальними речовинами (наприклад, полімерними сполуками) для підвищення його стійкості до стирання (M_{10}) і дроблення (M_{40}).

Екологічні аспекти технологій покращення. Сучасні технології спрямовані не лише на поліпшення якості коксу, а й на зменшення шкідливого впливу на довкілля:

1. Сухе гасіння коксу: зниження викидів CO₂ і утилізація теплової енергії.
2. Фільтрація викидів під час коксування: використання систем очищення газів і пилу.
3. Замкнуті цикли води для охолодження коксу: зменшення споживання водних ресурсів.

Покращення якості коксу – це багатоступінчастий процес, що включає оптимізацію сировини, контроль процесу коксування та післякоксування. Впровадження сучасних технологій дозволяє виробляти кокс із високими фізико-хімічними характеристиками, необхідними для стабільної роботи доменних печей, а також сприяє екологічній безпеці виробництва.

1.4 Розширення сировинної бази коксу

Для забезпечення стабільного виробництва коксу високої якості важливо розширювати та диверсифікувати сировинну базу. У сучасних умовах дефіциту якісного вугілля, особливо в Україні, цей процес стає критичним фактором для металургійної галузі.

В таблиці 1.3 наведені запаси вугілля по марках в Україні, виходячи з яких, можна зробити висновок, що запаси газового вугілля складають 17,9 % від загальної кількості вугілля або 42,9 % від кількості вугілля, що використовується для коксування. З іншого боку, частка газового вугілля в шихтах для коксування на коксохімічних підприємствах України складає лише 26,0-27,7 % [16].

Розширення сировинної бази включає геологічне дослідження, використання альтернативних джерел та вдосконалення технологій підготовки сировини.

Таблиця 1.3

Запаси вугілля по марках в Україні

Марка вугілля	Частка у запасах, %	Балансові запаси, млн. т		
		A+B	A+B+C ₁	C ₂
Б	5,8	1045,1	2593,3	299,2
Д	29,0	2985,5	13008,7	2827,0
ДГ	15,0	2207,2	6786,2	2072,5
Г	17,9	2670,6	8025,6	2633,6
Ж	5,9	756,6	2670,9	856,4
К	4,5	529,9	2023,8	347,0
ПС	2,3	270,3	1032,6	293,6
П	5,8	802,4	2596,7	586,6
А	13,8	2017,0	6187,6	1422,4
Всього по Україні	100,0	13347,6	44925,4	11338,3

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16].

Дослідження та освоєння нових родовищ – розширення сировинної бази починається з пошуку нових запасів коксівного вугілля:

- геологічна розвідка:

Інтенсифікація геологорозвідувальних робіт на території України, зокрема у малодосліджених регіонах, таких як Західний Донбас чи Полтавська область.

- освоєння важкодоступних родовищ:

Використання сучасних технологій глибокого видобутку для освоєння запасів на великих глибинах (понад 1 км).

- поновлення роботи вугільних шахт:

Відновлення діяльності шахт, розташованих у безпечних регіонах, із застосуванням енергоефективного обладнання.

Використання альтернативних джерел вуглецю – через обмеженість якісного коксівного вугілля металургійна галузь поступово переходить до використання альтернативних матеріалів:

- нафтовий кокс:

Побічний продукт нафтопереробки, що має високий вміст вуглецю (до 98 %). Він використовується як домішка у вугільній шихті для покращення характеристик коксу.

- біококс:

Використання біомаси (наприклад, деревного вугілля або продуктів термічної обробки рослинних матеріалів) для зменшення залежності від викопного вугілля.

- синтетичний кокс:

Виробництво коксу з відновлювальних джерел шляхом хімічної обробки органічних матеріалів.

Міжнародне співробітництво – для розширення сировинної бази важливим є імпорт вугілля та взаємодія з міжнародними постачальниками:

- імпорт коксівного вугілля:

Постачання високоякісного вугілля з країн із розвинутою вугледобувною промисловістю, таких як Австралія, США, Канада та Росія (в умовах мирного співіснування).

- угоди про спільну розробку родовищ:

Співпраця з іноземними компаніями для інвестицій у видобуток і збагачення вугілля.

- трансфер технологій:

Впровадження передових технологій для покращення процесу збагачення та змішування вугілля.

Технології для покращення якості сировини – розширення сировинної бази неможливе без застосування сучасних технологій:

- *технології збагачення низькоякісного вугілля:*

Видалення золи та сірки за допомогою флотації, магнітної сепарації або хімічного очищення.

- *застосування домішок:*

Використання синтетичних добавок для корекції складу вугілля та покращення характеристик кінцевого продукту.

- *змішування низькосортного вугілля з якісним:*

Формування оптимальної вугільної шихти для коксування з мінімальними витратами.

Екологічні аспекти розширення бази – розширення сировинної бази повинно враховувати екологічні ризики:

✓ зменшення викидів парникових газів завдяки переходу на альтернативні джерела.

✓ утилізація відходів вуглевидобутку для зниження екологічного навантаження.

✓ впровадження замкнутих водяних циклів на підприємствах.

Розширення сировинної бази коксу є ключовим завданням для забезпечення стійкості металургійної промисловості. Використання нових джерел вуглецю, міжнародне співробітництво та сучасні технології дозволяють не лише стабілізувати постачання, а й підвищити якість коксу, знизивши собівартість його виробництва.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

В Україні застосовуються різні технології підготовки вугілля та шихт, такі як подрібнення, термічна обробка, ущільнення, використання спікливих добавок та їх комбінації. Якість коксу залежить від однорідності складу шихти, але вугілля є неоднорідним матеріалом із різними характеристиками. Це пов'язано з геологічними умовами його утворення, різним складом компонентів, а також присутністю мінералів і органічних сполук, що робить вугілля складним і гетерогенним матеріалом.

Технологічна схема вуглепідготовки визначається залежно від характеристик застосовуваних для коксування вугілля та необхідної якості виробленого коксу.

Кожен тип вугілля має індивідуальні властивості, які залежать від його геологічного походження та структури. Для оцінки поведінки вугілля при дробленні використовуються випробування, засновані на механічному зменшенні розміру часток [17]. Рівень подрібнення шихти значно впливає на її технологічні властивості. Найбільш цінними є класи з крупністю 3-0,5 мм, оскільки вони мають більшу поверхню для взаємодії з іншими елементами вугільного засипу під час спікання та коксоутворення.

Переподрібнення шихти, зокрема збільшення вмісту класу 0-0,5 мм, може призвести до зниження насипної маси шихти, що, у свою чергу, погіршує механічні властивості коксу. Це явище відоме як «самоопіснення» і ускладнює реалізацію спікливих властивостей шихти [18]. Традиційно для підготовки вугільної шихти використовуються молоткові дробарки, проте їх застосування ускладнює точне регулювання ступеня подрібнення [19].

Руйнування твердого тіла в процесі дроблення відбувається через створення напруги, що спричиняє його деформацію. При цьому дрібні частки руйнуються повільніше, потребуючи більше енергії для їх подрібнення, порівняно з більшими частками, які важче піддаються руйнуванню через великі

сили, необхідні для досягнення точки їх руйнування. Це підвищує енерговитрати для дрібного помелу [20].

Згідно з дослідженнями [18], вміст фракції 0-0,5 мм на рівні 30-32 % забезпечує оптимальні властивості шихти і кінцевого продукту – коксу.

Регулювання гранулометричного складу шихти є ефективним методом покращення механічних властивостей коксу через збільшення насипної маси шихти. Оптимізація подрібнення вугілля, зокрема зменшення вмісту дрібних класів, сприяє покращенню спікливої здатності шихт і збереженню якості коксу.

2.1 Вибір технологічних прийомів для підвищення насипної маси вугільної шихти

Насипна щільність вугілля є відносною характеристикою, яка залежить від умов проведення випробувань, конструктивних особливостей і розмірів обладнання, а також способу завантаження вугілля. Вона визначається сукупністю шматків і порожнин між ними в певному об'ємі. Розмір, форма та рівномірність шматків (зокрема, їхній розподіл за розмірами) впливають на властивості насипної маси шихти, а також на міцність шматків коксу, тобто їхню здатність протистояти руйнуванню під тиском чи іншими діями.

Стабільність насипної маси шихти під час нагрівання залежить від міцності шматків та рівномірності розподілу їх за розмірами, що визначаються ситовим аналізом. У цілому, насипна маса є сумою шматків шихти та порожнин між ними, які заповнюють певний об'єм, і має кількісну характеристику, що визначається як величина насипної маси шихти в одиниці об'єму.

Питома насипна маса змінюється під впливом руйнівних зусиль, що діють на шихту, і значною мірою залежить від розміру, форми та розподілу шматків.

Насипна вага визначається такими чинниками, як ситовий склад, щільність укладання шматків, уявна питома вага і вологість шихти. У межах одного заводу,

де коливання зольності та уявної питомої ваги шихти незначні, головним фактором змін насипної ваги є рівномірність ситового складу.

Насипна щільність подрібненої вугільної шихти може сильно впливати на продуктивність коксової печі і якість коксу.

Підвищення насипної маси вугільної шихти є важливим завданням коксохімічного виробництва, що забезпечує ефективність термічної обробки вугілля та покращує якість отриманого коксу. Досягнення цього можливе завдяки застосуванню різноманітних технологічних прийомів, спрямованих на зміну гранулометричного складу, регулювання вологості та використання допоміжних добавок.

2.1.1 Регулювання гранулометричного складу

Гранулометричний склад шихти є одним із ключових чинників, що впливають на її насипну масу. Оптимізація цього параметра досягається шляхом:

Дроблення: зменшення розмірів частинок збільшує щільність упаковки вугільної шихти, що сприяє підвищенню насипної маси. Для досягнення найкращих результатів дроблення має забезпечувати рівномірний розподіл розмірів частинок, запобігаючи утворенню надмірної кількості пилу.

Ситовий (гранулометричний) склад визначають шляхом просіювання проб шихти через кілька сит із фіксованими розмірами отворів.

У міжнародній практиці використовуються сита з круглими отворами діаметром 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120 і 140 мм, а також сита з квадратними отворами зі стороною $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3, 4 і 5 дюймів.

Результати ситового аналізу із квадратними і круглими отворами можуть відрізнятися через особливості форми шматків і площу отворів. Для узгодження результатів застосовується коефіцієнт перерахунку (в середньому 1,14). Максимальний розмір шматків коксу залежить від ширини камери коксування, а мінімальний – від умов підготовки.

Тріщинуватість коксу значно впливає на його властивості. Її визначають за довжиною тріщин на поверхні шматків або рентгенографічним методом (для внутрішніх тріщин). Зазвичай міра тріщинуватості для шматків розміром понад 60 мм становить 0,15-0,30 см/см². При тоншому подрібненні вугілля зменшуються внутрішня напруга і тріщинуватість коксу (рис. 2.1). Чим краще збагачене вугілля, тим менше значення має їх подрібнення для ослаблення напруженості коксу.

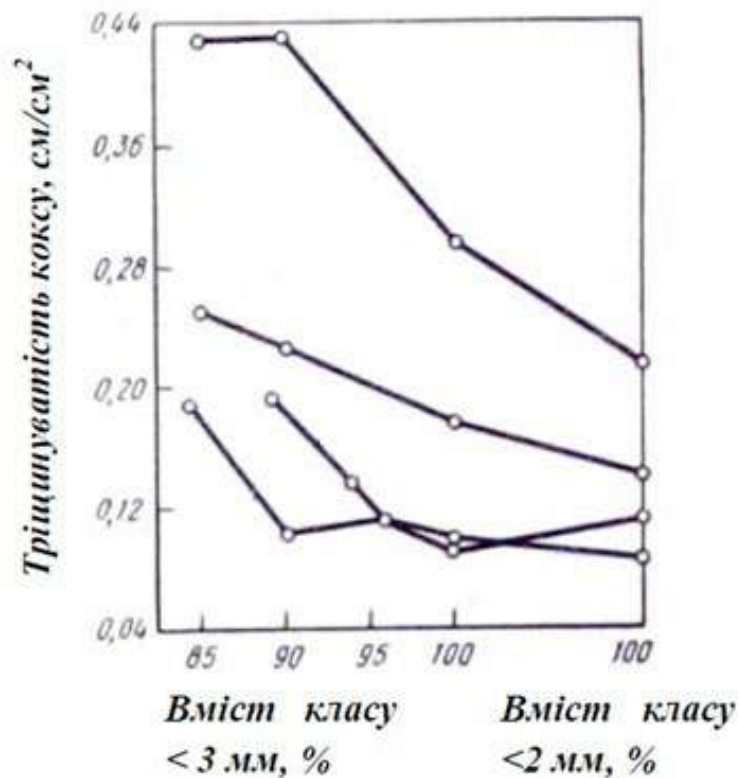


Рис. 2.1 Вплив ступеня подрібнення вугілля і шихт на тріщинуватість коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [26]

Зменшення насипної щільності при подрібненні вугілля сприяє ослабленню в коксі внутрішньої напруги. Це пов'язано із зростанням температуропровідності.

При тоншому подрібненні шихти в коксовому пирозі утворюється менше тріщин, але вони інтенсивніше просуваються углиб. Тому куски коксу виходять

більш дрібні, але менш тріщинуваті. Утворення дрібнішого коксу при тонкому подрібненні шихти може сприяти підвищенню його кускової рівномірності, тобто збільшенню кількості середніх кусків (40-80 мм).

Сортування: видалення великих шматків і дрібнодисперсного пилю дозволяє уникнути розрідження шару в шихті. Це забезпечується застосуванням ситових аналізаторів для відокремлення фракцій певних розмірів.

Трамбування та брикетування: змішування різних фракцій у певних пропорціях дозволяє досягти максимального ущільнення матеріалу завдяки взаємному проникненню частинок.

Трамбування шихти потребує тонкого подрібнення вугілля, особливо якщо сполучною речовиною виступає вода. При насиченні шихти вологою (коли насипна щільність досягає мінімального рівня) щільність вугільної маси знижується зі збільшенням ступеня подрібнення. Однак мінімальна щільність досягається при більш високому рівні вологості, оскільки додаткова вода витрачається на змочування збільшеної поверхні.

Капілярний ефект надає вологі в'язучі властивості, що сприяє формуванню міцних вугільних блоків під час трамбування або брикетування. Максимальна міцність блоку досягається за умов, коли вільна насипна щільність вугілля мінімальна. Це відбувається при дрібному помелі (до 100 % частинок менше 3 мм) і вмісті води 7-9 %. Міцність коксу залежить від співвідношення ступеня подрібнення та щільності трамбування. Збільшення щільності покращує міцність пористого коксу, але підвищує його напруженість. У той час, як дрібніше подрібнення знижує і міцність, і напруженість. Оптимальне поєднання цих факторів досягається за помірної спікливості шихти (товщина пластичного шару 9-13 мм), помірної усадки (30-32 % летких речовин) і щільності трамбування 0,95-1,05 т/м³. Подальше ущільнення суттєво не впливає на якість коксу.

У порівнянні з насипним завантаженням, трамбування підвищує щільність вугільної маси на 30 %, що подовжує період коксування на 8-10 %. Також

зменшується газопроникність у пластичному стані, що сприяє активізації відновлювальних процесів і збільшенню товщини пластичного шару. Проте, при високоспівливих шихтах трамбування може призвести до надмірного напруження коксу, яке не компенсується навіть тонким помелом.

Брикетування шихти (часткове або повне) спрямоване на збільшення насипної щільності за рахунок використання органічних в'язучих речовин або без них, із застосуванням води. Для забезпечення необхідної міцності сирих брикетів потрібний тонкий помел (до 100 % частинок менше 3 мм) і ущільнення до 1,1-1,2 г/см³. При частковому брикетуванні (40-60 % об'єму) щільність шихти зростає на 10-16 %, що також подовжує період коксування.

Ущільнення шихти позитивно впливає на якість коксу: зменшується стиранність (показник M_{10} знижується на 2 %), зменшується винос пилу, а також засмічення смоли та утворення фусів. Найкращі результати досягаються при брикетуванні з використанням в'язучих речовин, таких як мазут. Це дозволяє застосовувати більше слабоспівливого газового та пісного вугілля. Разом із цим брикетування підвищує дифузійний опір газів, зокрема водню, та збільшує товщину пластичного шару під час піролізу, що покращує якість кінцевого продукту.

2.1.2 Зміна вологості шихти

Вологість має значний вплив на фізико-механічні властивості шихти. Надмірна сухість спричиняє погану зв'язність частинок, тоді як надмірна вологість знижує насипну масу через утворення водних плівок між частинками. Для оптимізації вологості застосовуються такі методи:

1) *Зволоження*: додавання оптимальної кількості води, яка сприяє утворенню зв'язків між частинками, підвищуючи їх адгезію. Рівень вологості регулюється в межах 6-8 % залежно від характеристик сировини. Вологість – один із найбільш важливих показників, що впливає на насипну щільність

вугільної шихти і визначає якість виходу готового коксу. Насипна щільність досягає максимуму у сухого вугілля і знижується до мінімуму [21,22] в залежності від крупності при вологості в інтервалі 6–10 %, а потім знову підвищується з подальшим підвищенням вологості (рис. 2.2).

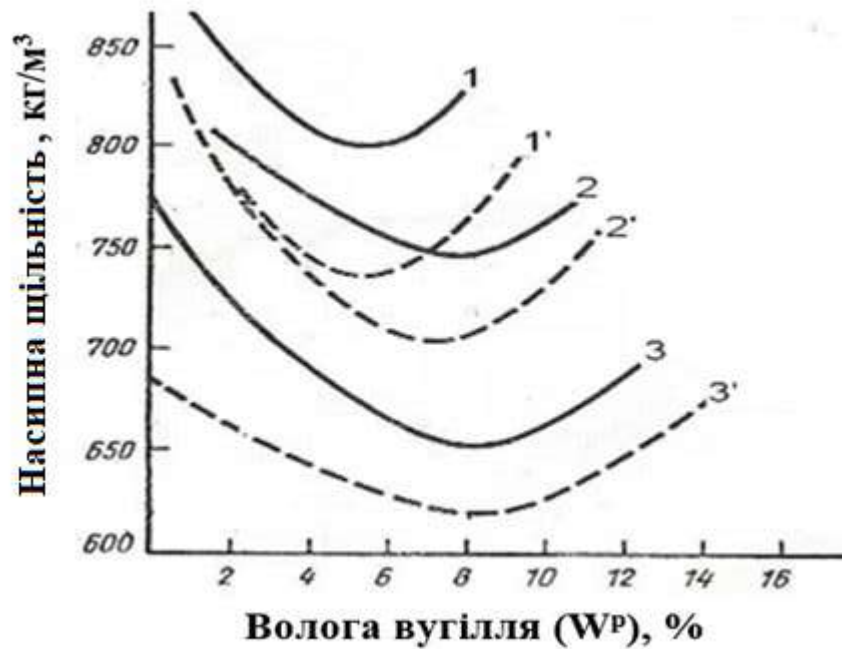


Рис. 2.2 Вплив вологості і класу вугілля на насипну щільність

1 – подрібнене вугілля, клас ≤ 35 мм; 2 – коксівне вугілля, клас ≤ 20 мм; 3 – вугільний дріб'язок, клас ≤ 10 мм; 4 – вугільний дріб'язок, клас ≤ 3 мм.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [24, 25]

Величина насипної щільності вугільної шихти істотно залежить від її робочої вологи. Мінімальна величина насипної щільності (798 кг/м^3) досягається при величині робочої вологи, яка дорівнює ~ 7 %. При зниженні величини робочої вологи до 4 % або її зростанні до 12 %, значення насипної щільності вугільної шихти зростає до 820 і 871 кг/м^3 відповідно.

Через підвищення насипної щільності шихти добавкою води досягають підвищення продуктивності по шихті і легшого ходу при видачі коксу завдяки

меншого спучування вугільного завантаження, але при цьому збільшується час коксування і витрата тепла на отримання готового коксу.

Визначення насипної щільності вугільного завантаження необхідне для розрахунку роботи коксових печей. Відомо, що насипна щільність впливає на фізико-хімічні властивості коксу та на продуктивність коксових печей.

2) *Сушіння*: у разі надмірної вологості використовуються сушильні установки, які забезпечують рівномірне випаровування води з поверхні частинок, не допускаючи їхнього перегріву.

Попередня сушка та нагрівання вугільної шихти при шаровому коксуванні впливають на процес формування коксу: прискорюється нагрівання до пластичного стану, збільшується товщина пластичного шару, зменшуються температурний перепад і усадка напівкоксу. Це сприяє підвищенню міцності коксу та збільшенню виходу металургійного продукту.

Глибока сушка відбувається через контакт вугільного матеріалу з теплоносієм: у теплообмінниках – 4-10 хвилин, у псевдо зрідженому шарі – 0,5-2 хвилини, у потоці газу – 0,3-1,5 секунди. Температура нагрівання обмежується рівнем, що не перевищує хімічну термостійкість вугілля. При попередньому нагріванні до 200-250 °C підвищується сипучість і насипна густина шихти, але за температури понад 250 °C густина знижується через розпушення частинок вугілля (рис. 2.3).

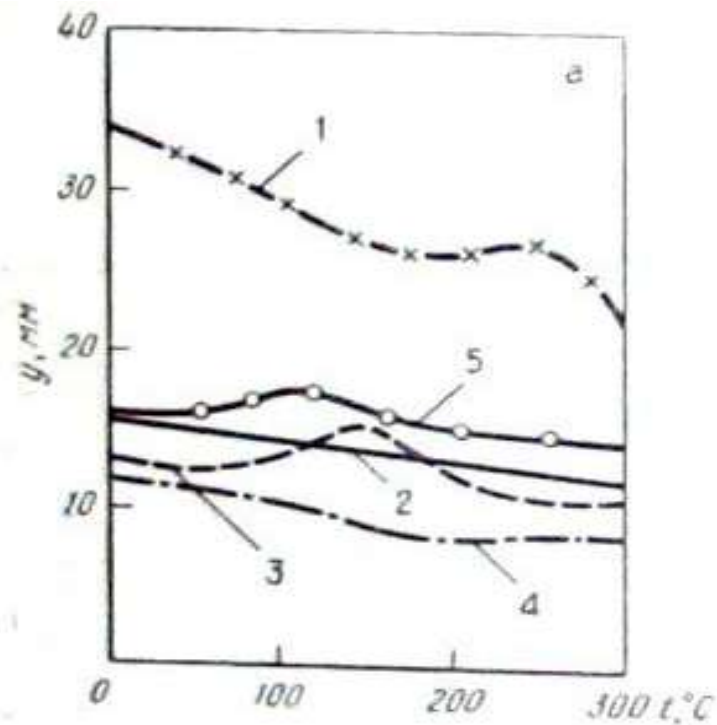


Рис. 2.3 Вплив температури попереднього нагріву на товщину пластичного шару вугілля

1 – Ж; 2 – Г; 3 – КЖ; 4 – К; 5 – шихта

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [26]

Нагрівання до 250 °C сприяє зменшенню пористості коксу та робить його структуру більш однорідною. Максимальна міцність коксу досягається при термопідготовці в межах 180-250 °C, причому основний приріст забезпечується під час сушки. Це підвищує механічну міцність і зберігає стабільність розмірів шматків коксу.

2.1.3 Застосування сполучних добавок

Використання добавок для покращення властивостей шихти є ефективним заходом для підвищення її насипної маси. Найчастіше застосовують:

- органічні зв'язувальні речовини: наприклад, смоли, бітуми або інші похідні вуглеводнів, що сприяють зміцненню контактів між частинками.

- мінеральні добавки: вапнякові, глиноземні або інші дрібнодисперсні матеріали, які заповнюють порожнечі між крупнішими частинками, збільшуючи щільність шихти.

- модифікатори структури: добавки, що змінюють поверхневу енергію частинок, зменшуючи тертя між ними та покращуючи їхню ущільненість.

У процесі додавання органічних домішок до вугільної шихти виділяють три ключові фактори, що впливають на спікання та утворення коксу: збільшення насипної щільності вугільного завантаження, посилення пластичності вугілля завдяки органічним добавкам і продуктам термодеструкції, а також покращення спікливості вугілля через хімічну взаємодію продуктів термічної деструкції з органічними домішками. Досліджено можливість використання різних відходів коксохімічного виробництва (зокрема, фусів механізованих освітлювачів, кислій смолки сульфатного відділення, полімерів бензолowego виробництва, кубових залишків та ін.) як добавок до шихти для коксування.

З'ясовано, що за введення 5 % фусів насипна щільність шихти зростає на 6-7,5 %. Встановлено, що кисла смола й кубові залишки цеху ректифікації проявляють поверхнево-активні властивості, а кубові залишки та полімери бензолowego виробництва містять до 50-75 % ненасичених сполук. Ці речовини слугують ініціаторами реакцій конденсації, активно беруть участь у процесах спікання та утворення коксу. Дослідження показали, що введення обмаслювальних добавок до шихти сприяє підвищенню виходу коксу на 0,4-0,5 %, зниженню вмісту сірки на 0,15-0,2 % та зменшенню реакційної здатності коксу.

2.1.4 Механічне ущільнення шихти

Один із найбільш ефективних методів підвищення насипної маси – застосування механічного впливу на шихту для зменшення міжчастинкових порожнин. До таких прийомів належать:

1) Пресування: використання пресів для ущільнення шихти перед подачею в коксові печі. Цей метод забезпечує рівномірний розподіл щільності по всьому об'єму.

2) Вібрууцільнення: створення вібраційних коливань, які сприяють більш щільному укладанню частинок у шихті.

3) Катокування: використання валкових машин для ущільнення шихти на транспортувальних стрічках або перед завантаженням у піч.

2.1.5 Оптимізація процесів змішування

Рівномірність розподілу компонентів у шихті безпосередньо впливає на її насипну масу. Для цього застосовуються сучасні змішувачі з лопатевими або планетарними механізмами, які забезпечують високу однорідність суміші.

Процес змішування компонентів шихти є важливим етапом, який забезпечує рівномірний розподіл властивостей у всьому об'ємі шихти. Рівномірність змішування безпосередньо впливає на спікливість і якість отриманого коксу.

Для змішування шихти використовують об'ємні змішувачі типу ВЗ-5000, які забезпечують рівномірність розподілу компонентів до 98-99 %. На коксохімічному підприємстві у силоси закритого складу надходить до 15 марок вугільних концентратів (таб. 2.1), що значно перевищує оптимальний рівень (5-7 марок на українських підприємствах і не більше 2 – на багатьох заводах Європи, Америки, Китаю, Японії). Коливання фізико-хімічних параметрів такої кількості концентратів погіршують стабільність і якість коксу, ускладнюючи ефективне змішування шихти перед коксуванням.

Таблиця 2.1

Ситовий склад вугілля, що використовується в шихті ВПЦ КХВ

Марка вугілля, ЦЗФ	Фракційний склад вугілля, мм					Насипна маса, кг/м ³	Волога, %
	+6	6-3	3-0.5	0-0.5	0-3		
К – Укркокс	12,15	18,60	40,08	29,17	69,25	914	19,8
Ж – Краснолиманська	40,56	19,74	25,20	14,50	39,7	871	10,5
Ж – Укркокс	12,48	13,33	33,14	41,05	74,19	859	14,4
Ж – Київська	2,86	5,98	49,81	41,35	91,16	832	12,0
2Ж – Печерська	29,48	14,56	25,10	30,86	55,96	841	12,0
1Ж – Респадська	16,93	18,37	22,72	42,56	64,96	891	10,5
К – Північна	19,95	15,24	32,49	32,49	64,81	847	12,7
К+КО+ОС – Північна	18,99	19,32	33,62	28,62	72,99	927	17,2
К+ЖК – Східна	6,68	9,52	33,40	40,80	83,80	801	12,6
Польща G34 (Г)	38,29	15,99	26,96	13,05	45,72	859	9,15
США «Alpha» (К1)	6,25	14,15	45,10	34,15	79,10	890	14,4
Канада «Eagle» (К)	14,05	12,81	34,62	38,52	73,14	831	12,1
США «Coking Coal Pardee» (ГЖ)	42,65	13,76	21,55	43,59	43,59	870	11,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [27]

Молоткова дробарка є одним із найефективніших змішувачів, але її можливості обмежені для великої кількості концентратів. Дослідження показали [27], що:

- Ступінь змішування за виходом летких речовин досягла 86,3 %, що значно нижче оптимальних 97-98 %.
- За вологою фактичний показник склав 76,2 % (проти необхідних 100 %),

що впливає на насипну масу шихти.

- Ступінь змішування за зольністю становила лише 45 %, що теж є низьким результатом.

Найгірший результат – 20,3 % – отримано для фракції 0-0,5 мм, яка складає 46-49 % шихти та нерівномірно розподіляється.

Також, згідно з дослідженням [27], рівномірність змішування шихти на рівні 98-99 % дозволяє досягти таких результатів:

Підвищення міцності коксу – за показниками M_{40} та CSR міцність збільшується на 6-8 %.

Рівномірний розподіл часток шихти сприяє рівномірному прогріву в коксових печах, що знижує внутрішню напругу та зменшення утворення тріщин у коксовому пирозі.

Завдяки рівномірності компонентів процес спікливості відбувається стабільніше, що забезпечує високу якість коксу.

Ще одним важливим фактором, що впливає на якість підготовки вугільної шихти, є ступінь її змішування.

Ці показники вказують на необхідність додаткового змішування шихти перед подачею в коксові камери для покращення її рівномірності та забезпечення стабільної якості коксу.

Оптимізація процесу змішування є ключовим фактором для підвищення ефективності роботи вуглепідготовчого цеху. Результати досліджень підтверджують, що забезпечення рівномірності шихти значно покращує кінцеві характеристики коксу, зокрема його механічну міцність та пористість.

2.1.6 Моделювання процесів підготовки вугільної шихти

Використання програмних засобів для аналізу та моделювання структури шихти дозволяє визначити оптимальні параметри для кожного технологічного

прийому. Це значно скорочує витрати часу і ресурсів на дослідно-промислові експерименти.

Успішне застосування описаних технологічних прийомів дозволяє суттєво підвищити насипну масу вугільної шихти, що покращує її термофізичні властивості та сприяє підвищенню ефективності всього коксохімічного процесу. Рациональний вибір методів залежить від властивостей сировини, наявного обладнання та економічних умов виробництва.

2.2 Обґрунтування технологічних рішень для поліпшення якості коксу

Якість коксу визначається його фізико-механічними властивостями, такими як міцність, пористість, реакційна здатність, а також хімічними показниками, включаючи вміст сірки, золи та летких речовин. Поліпшення цих характеристик є критично важливим завданням коксохімічної промисловості, яке досягається шляхом реалізації низки технологічних рішень на різних етапах виробництва.

2.2.1 Покращення якості вугільної шихти

Основною сировиною для виробництва коксу є вугільна шихта. Її якість прямо впливає на кінцеві властивості коксу. Для покращення шихти використовують такі підходи:

✓ Складання оптимальних вугільних сумішей: використання різних марок вугілля дозволяє отримати шихту з необхідними властивостями. Наприклад, додавання малозольного та низькосірчистого вугілля знижує вміст небажаних домішок у коксі.

✓ Попередня обробка вугілля: дроблення та грохочення дозволяють зменшити розміри частинок та видалити сторонні включення.

✓ Облагороджування вугілля: флотаційна очистка або магнітна сепарація

ефективно видаляють золу та металеві домішки з вугілля.

Якість коксу залежить від точного дотримання температурного та часових режимів коксування:

1) Температура коксування: підтримання рівня 1000-1100 °С забезпечує повний розклад органічних сполук у вугіллі.

2) Тривалість процесу: занадто короткий час призводить до неповного коксування, тоді як надмірне коксування знижує механічну міцність коксу.

3) Рівномірність прогріву: забезпечується за допомогою покращення конструкції печей та впровадження нових теплоізоляційних матеріалів.

2.3 Дослідження роботи вуглепідготовчого цеху на прикладі ПрАТ «Запоріжжкокс»

Підготовка вугільної шихти для коксування є ключовим етапом, що впливає на ефективність коксохімічного виробництва та якість отриманого коксу.

2.3.1 Відсів дрібних класів вугілля

Відсів дрібних класів вугілля є важливим етапом, оскільки дрібні частинки погіршують сипкість, рівномірність розподілу матеріалу в коксових печах, а також впливають на якість кінцевого продукту. Основна мета – видалення надмірно дрібних фракцій (<0,5 мм) з подальшим використанням залишкової маси у складі шихти.

Відсів дрібних частинок:

✓ знижує електроенергетичні витрати на дроблення та подальшу переробку.

✓ покращує якість шихти за рахунок оптимізації гранулометричного складу.

✓ підвищує насипну щільність шихти, що позитивно впливає на якість коксу.

Основне завдання при підготовці вугілля та шихт – це забезпечити однорідність матеріалу, щоб отримати кокс потрібної якості. Для цього використовуються різні методи подрібнення та покращення насипної щільності вугілля.

Одним із ключових процесів у цьому циклі є механічне розділення вугілля на фракції за розміром частинок – грохочення вугілля, здійснюється: перед дозуванням компонентів рядової шихти (поєднується з попереднім дробленням); перед збагаченням для розподілу на так звані «машинні» класи і виділення класу 0-0,5 мм (знешламлення); для розподілу продуктів збагачення на класи крупності; для відділення води від продуктів збагачення (зневоднення); перед остаточним подрібненням компонентів шихти (виділення класів, які не потребують подрібнення).

Для класифікації вугілля і вугільної шихти за класами крупності існує велика кількість відсіваючих пристроїв:

1. Грохоти

За конструкцією грохоти поділяються на машини (грохоти з рухомою робочою (просіювальною) поверхнею) та пристрої (грохоти з нерухомою робочою поверхнею).

Грохоти з рухомою робочою поверхнею [28] забезпечують високу ефективність грохочення. Такий грохот складається з просіювальної поверхні сита, жорстко закріпленого на підвішеній нахиленій металевій рамі, та механізму, що приводить раму з ситом у рух. На грохоті може бути встановлено кілька сит із отворами різних розмірів.

Для переробки вугілля використовують інерційно нахилені, самобалансні, резонансні та гіраційні (рис. 2.4).

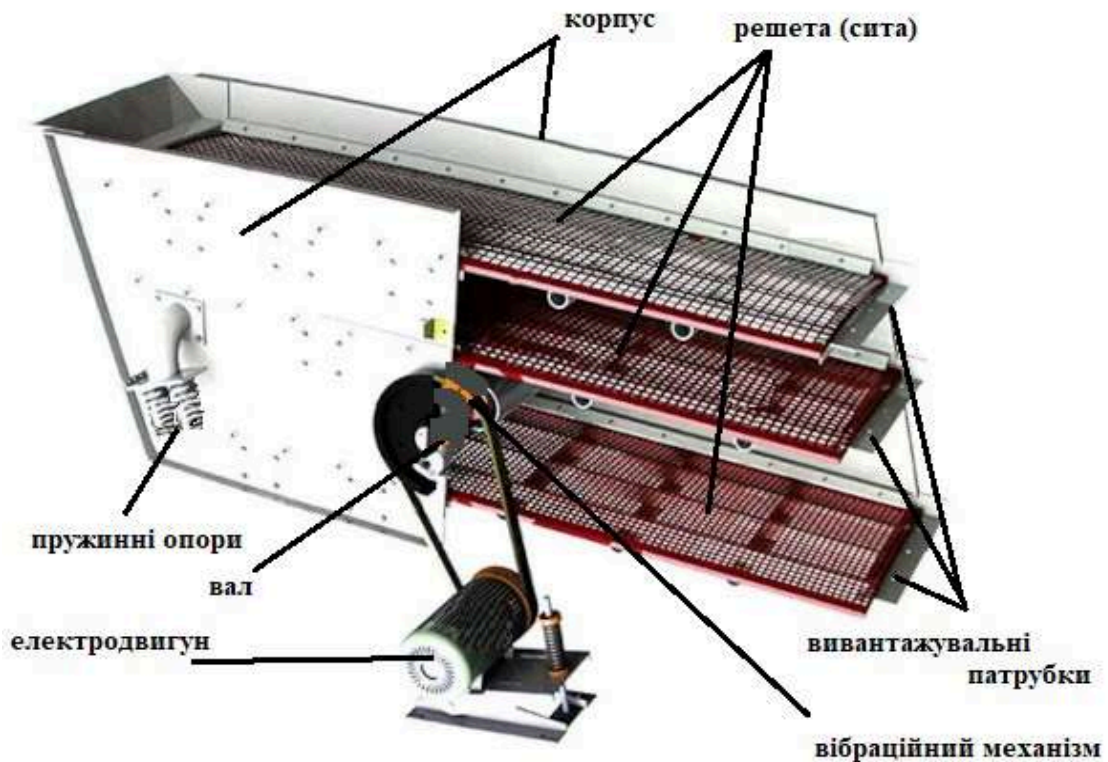


Рис. 2.4 Вібраційний грохот ГВ-60

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [28]

Грохоти з нерухоною робочою поверхнею – це пристрої, в яких робочим органом є нерухомо закріплені просіювальні поверхні. Наприклад, колосниковий грохот (рис. 2.5), що складається з нахиленої поверхні з пластин, з'єднаних між собою. Такі грохоти застосовують для грубої класифікації кускових матеріалів.

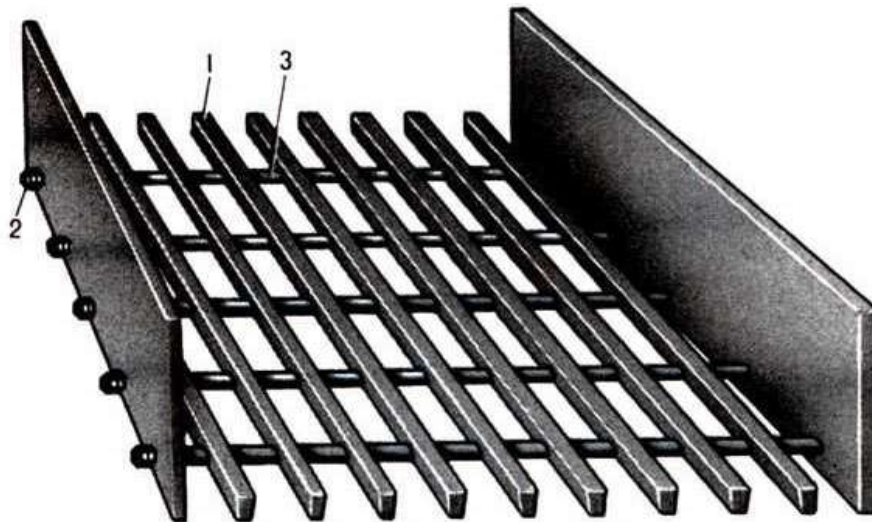


Рис. 2.5 Нерухомий колосниковий грохот

1 – колосник, 2 – стяжний болт, 3 – розпірна труба.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [28]

2. Колосникова решітка

Це пристрій, що поєднує функції просіювання і транспортування. Її конструкція включає обертові вали (колісники) з закріпленими дисками, які створюють простір для розділення матеріалу. Основні її характеристики: делікатна обробка сировини, яка зберігає якість вугілля, ефективність у видаленні дрібних фракцій та пилу, можливість роботи з матеріалами різної вологості.

Основні типи колосникових решіток:

1. Горизонтальні колосникові решітки використовуються для видалення великих часток вугілля та інших небажаних елементів. Такі решітки добре підходять для грубого сортування сировини.

2. Нахилені (кутові) колосникові решітки використовуються для відсіювання великих часток вугілля. Нахил колосників дозволяє підвищити ефективність процесу відсіювання, сприяючи більш швидкому проходу матеріалу через решітку.

3. Штокові (стрижневі) колосникові решітки найчастіше використовується для грубого сортування, оскільки стрижневі решітки забезпечують високу

міцність і здатність пропускати крупні частки матеріалу.

Колісникові решітки особливо корисні для сировини з високою концентрацією дрібних фракцій, адже вони забезпечують їх рівномірне видалення.

3. Сита (решета)

У процесі грохочення важливе значення має робоча частина грохота – сито (решето), яке являє собою просіювальну поверхню, на якій, власне, і відбувається грохочення матеріалу. Характеристикою сита є коефіцієнт живого перерізу $K_{ж}$, який є відсотковим співвідношенням сумарної площі отворів до площі просіювальної поверхні.

Сита за формою мають круглі, овальні, прямокутні та подовжені отвори. Грохочення крупних класів сипучого матеріалу найчастіше здійснюється на листових (штампованих) ситах із круглими або квадратними отворами.

Найпоширеніші співвідношення між отворами (відстані між центрами) і товщиною листа наведені в таблиці 2.2 [28]. Зі зменшенням відстані між центрами отворів збільшується живий переріз сита. Для листових сит із круглими отворами живий переріз становить від 40 до 63 % (залежно від діаметра отворів, див. 2.1), для сит із квадратними отворами (див. 2.2) – від 40 до 71 %.

$K_{ж}$ перерізу (в %) штампованих сит:

із круглими отворами

$$K_{ж} = 90,7 \frac{d^2}{t^2}, \quad (2.1)$$

з квадратними отворами

$$K_{ж} = 100 \frac{b^2}{t^2}, \quad (2.2)$$

де d – діаметр круглого отвору, мм; b – діаметр квадратного отвору, мм; t – крок між отворами (відстань між центрами), мм.

Таблиця 2.2

Штамповані листові сита

Найменування	Розміри, мм			
Круглі отвори				
Діаметр отворів	7	12-26	30-60	75-95
Відстань між центрами (крок отворів)	10,0-10,5	16,5-37,0	40,5-80	90-120
Товщина листа	4-6	6-8	8-10	8-12
Квадратні отвори				
Розмір квадратних отворів	5	10	13-37	40-80
Відстань між центрами (крок отворів)	7,5-8,0	15,0-16,0	18,5-46,5	50,0-95,0
Товщина листа	4-6	4-6	8-10	8-12

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [28]

Штамповані сталеві сита, отвори в яких пробиваються штампувальними пресами під конус, приблизно 7° , слід встановлювати так, щоб отвори розширювалися донизу, інакше під час роботи грохота вони забиватимуться матеріалом.

Для грохочення середніх і дрібних класів матеріалів застосовуються дротяні сітки. Вони виготовляються зі звичайної чи нержавіючої сталі, кольорових металів і синтетичних матеріалів. Перевагою таких сіток є більший живий переріз, ніж у штампованих. Вони легші, дешевші та більш ефективні.

За способом з'єднання дротів ткани сітки поділяються на прості (кожен дріт основи (поздовжня нитка) переплітається з кожною ниткою підткання (поперечна нитка) (рис. 2.6 а)) і саржеві (нитки основи й підткання переплітаються через дві (рис. 2.6 б)). Сітки виготовляються з рифленого дроту: прості дроти основи й підткання мають вигини в місцях переплетень; дроти

мають вигини в місцях переплетень і в сторонах отворів; комбіновані – тільки дроти підткання мають вигини в місцях переплетень із дротами основи.

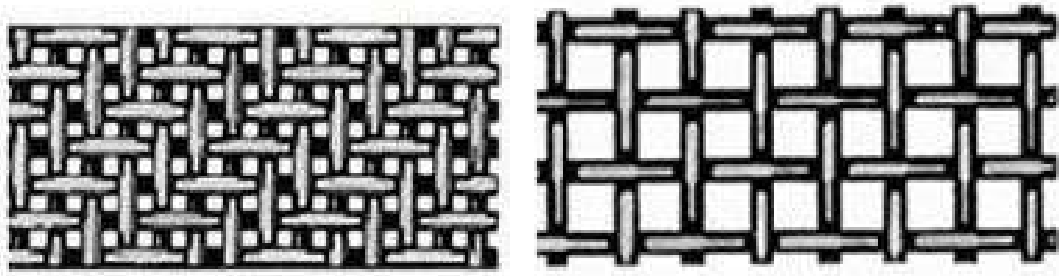


Рис. 2.6 Способи з'єднання дротів:

а – проста, б – саржева

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [28]

4. Вібраційні сита

Цей тип пристроїв створює додаткову амплітуду руху частинок через застосування вібрації. Вібраційні сита використовуються для обробки матеріалів, що потребують ретельного поділу, зокрема для видалення вугільного пилу та дрібної фракції. Завдяки динамічному принципу роботи вони мають вищу ефективність, ніж статичні грохоти. Одними з найбільш поширених є:

1. Вібраційні сита з лінійним рухом – зазвичай використовуються для поділу матеріалу на кілька фракцій. Вони забезпечують високу продуктивність і ефективне сортування, що важливо в подальшому для коксохімічного виробництва. Вони працюють за допомогою електричних вібраторів, які створюють лінійне коливання сит, що сприяє швидкому проходженню матеріалу.

2. Вібраційні сита з круговим рухом – забезпечують більш інтенсивне просіювання, але при цьому можуть мати трохи меншу продуктивність порівняно з лінійними. Такі сита використовують для більш дрібного відсіву або в умовах, де потрібно більш ретельне сортування.

3. Ковшові вібраційні сита – часто використовуються на промислових підприємствах для відсіву великих обсягів матеріалів. Вони мають систему

ковшів, що піднімають і опускають матеріал, забезпечуючи його ефективне просіювання.

4. Багатошарові вібраційні сита – використовуються для поділу на кілька фракцій одночасно, що дозволяє збільшити ефективність сортування вугілля за різними розмірами.

Отже, відсів дрібних класів дозволяє зменшити частку дрібнодисперсних частинок, які мають низьку сипкість та погіршують якість шихти. Це забезпечує:

- ✓ підвищення насипної маси шихти на 5-10 %.
- ✓ зниження витрат електроенергії на дроблення до 15 %.
- ✓ покращення якості коксу за рахунок більш рівномірного розподілу гранулометричних фракцій.

У таблицях 2.3-2.6 наведені технологічні властивості, петрографічна характеристика і гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти (після дроблення), складеної на їх основі.

Марочний і компонентний склади [29] вугільної шихти ПрАТ «Запоріжжкокс» формуються зі співвідношення таких марок вугілля (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Марочний і компонентний склади вугільної шихти ПрАТ «Запоріжжкокс»

Постачальник	Марка	Частка, %
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	31,0
Wellmore	Ж	8,0
Carter Roag	Ж	17,0
ЗФ "Свято-Варваринська"	К	30,0
Deep Mine 41	К	8,0
Pocahontas	ПС	6,0
Шихта		100,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [29].

Проаналізувавши наведені дані, можна зробити висновок, що до складу вугільної шихти входять:

Газове (Г) – 31 %, використовується для отримання коксу, який застосовується для газифікації. Вугілля цієї марки має достатньо високий вміст летючих компонентів і порівняно менший вміст вуглецю. В основному це вугілля постачається з Донбасу (Донецька та Луганська області), але в умовах війни значно зменшився видобуток та транспортування вугілля з цих регіонів. Тому зросла залежність від імпорту вугілля з Казахстану, а також з Росії через нейтральні країни, хоча з огляду на бойові дії, постачання через Росію стало менш стабільним.

Жирне (Ж) – 25 %, має високий вміст летючих речовин і добре спікається, що дозволяє отримувати кокс з високими механічними властивостями. Вугілля цієї марки забезпечує високоякісний кокс для сталеливарної промисловості. Жирне вугілля постачається переважно з Донбасу та Луганської області, але через війну постачання з цих регіонів ускладнене. Тому для забезпечення потреб підприємства доводиться імпортувати жирне вугілля з Казахстану та Польщі, де є доступ до високоякісного коксівного вугілля.

Таблиця 2.4

Технологічні властивості вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «Запоріжкокс»

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолоздатності згідно Хардгрову, од.
		A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	x	y	HGI
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	8,7	0,51	37,3	37	10	47
Wellmore	Ж	7,7	1,06	33,6	20	22	63
Carter Roag	Ж	8,7	1,17	31,7	12	21	64
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	8,2	0,70	27,6	17	15	72
Deep Mine 41	К	8,0	1,12	26,5	13	21	86
Rosahontas	ПС	8,8	0,71	18,3	10	12	84
Шихта виробнича		8,4	0,92	30,6	29	16	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [29].

Таблиця 2.5

Петрографічні характеристики вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «Запоріжжкокс»

Постачальник	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок),%					Середній довільний показник відбиття вітриніту, % R_0	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
								0,50– 0,79	0,80– 0,89	0,90– 1,19	1,20– 1,49	1,50– 1,69	1,70– 2,59	Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту
		V_t	S_v	I	L	ΣOK		ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	П	
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	80	0	18	2	18	0,70	93	2	5	0	0	0	
Wellmore	Ж	83	0	13	4	13	0,99	2	10	88	0	0	0	
Carter Roag	Ж	81	0	15	4	15	1,00	0	9	91	0	0	0	
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	86	1	12	1	13	1,20	0	0	50	50	0	0	
Deep Mine 41	К	74	1	24	1	25	1,10	0	0	84	16	0	0	
Rosahontas	ПС	79	1	20	0	21	1,54	0	0	0	35	63	2	
Шихта виробнича		82	0	16	2	16	1,00	28	5	46	17	4	0	

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [30].

Таблиця 2.6

Гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «Запоріжжкокс»

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	1,7	7,6	9,9	19,7	10,6	25,7	12,1	12,7	50,5	9,09
Wellmore	Ж	0,0	2,7	11,7	21,6	14,3	23,1	10,2	16,4	49,7	6,59
Carter Roag	Ж	0,0	2,2	5,5	14,6	10,4	26,6	15,7	25,0	67,3	4,54
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	1,1	5,5	7,5	9,5	32,3	14,8	8,8	20,5	44,1	7,14
Deep Mine 41	К	1,5	2,7	4,6	12,1	10,6	27,3	16,9	24,3	68,5	5,48
Rosahontas	ПС	0,0	0,6	2,9	6,8	7,1	22,6	21,5	38,5	82,6	2,56
Шихта виробнича		0,0	0,0	0,0	12,6	9,7	24,3	17,3	36,1	77,7	2,34

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [29].

Коксівне (К) – 38 % – основний компонент шихти для коксування. Воно має високий вміст вуглецю і низький вміст летючих компонентів, що дозволяє отримувати високоякісний кокс з оптимальними фізико-хімічними властивостями. Коксівне вугілля постачається з Донбасу та Луганської області, але через бойові дії в регіонах, де видобувається це вугілля, існують перебої з поставками. Для поповнення потреб у коксівному вугіллі ПрАТ «Запоріжкокс» може імпортувати його з Казахстану, де видобувається вугілля високої якості, а також з Польщі.

Піснувато-спікливе (ПС) – 6 %, має певний вміст летючих компонентів і спікливі властивості, що додає шихті необхідну структуру для коксування. Вугілля цієї марки додається для коригування складу шихти, забезпечуючи покращення механічних властивостей коксу. Піснувато-спікливе вугілля може постачатися з Донбасу, але через війну і пошкодження шахт, постачання з цього регіону значно зменшилося. Тому підприємство також імпортує піснувате вугілля з Казахстану і Польщі, де є можливість постачання цього виду сировини.

2.3.2 Регулювання вологості шихти

Одним із ключових параметрів, що визначає якість і технологічні властивості вугільної шихти для коксування, є її вологість. Оптимальне регулювання вологості дозволяє впливати на фізико-хімічні характеристики шихти, що в свою чергу позначається на ефективності процесу коксування та якості отриманого коксу.

Висушування є основним методом зменшення вологості вугільної шихти. Цей процес реалізується шляхом нагрівання шихти в сушильних барабанах або спеціальних камерах з обмеженим доступом кисню.

У процесі сушіння:

- вугілля підігрівається за допомогою гарячого повітря або димових газів;
- волога переходить у пароподібний стан і видаляється вентиляційною системою.

Результатом висушування є збільшення насипної маси вугільної шихти, оскільки зменшується вміст води, а частинки шихти ущільнюються під власною вагою. Висушена шихта демонструє кращу сипкість, що позитивно впливає на рівномірність завантаження коксових батарей і кінцеву якість коксу.

У випадках, коли вугільна шихта має надмірно низьку вологість, застосовується метод зволоження. Це здійснюється шляхом рівномірного розпилення води або водно-розчинних добавок на шихту. Такий процес:

- забезпечує рівномірне насичення вологи в усіх фракціях;
- запобігає утворенню пилу під час транспортування і завантаження.

Зволожена шихта має підвищену пластичність, що сприяє кращому формуванню міцних коксових часток. Водночас надмірне зволоження може негативно вплинути на насипну масу, тому важливо дотримуватися оптимальних параметрів.

Оптимальне регулювання вологості дозволяє забезпечити баланс між сипкістю, насипною масою та технологічними властивостями вугільної шихти, що є запорукою якісного процесу коксування.

Дослідження показують [27], що вологість вугільної шихти є одним із ключових параметрів, який впливає на її фізичні властивості, зокрема на насипну щільність. Аналіз залежності (рис. 2.7) насипної щільності (BD , див. 2.3) від вологості (W_t) виявив, що зміна вологості впливає на гранулометричний склад шихти, що призводить до перерозподілу фракцій частинок.

$$BD^r = 5,9926 (W_t^r)^2 - 88,959 W_t^r + 1121,2, \quad (2.3)$$

де $R^2=0,8948$.

Отже, згідно дослідження: за вологості близько 7,2 % насипна щільність досягає мінімального значення ($\sim 798-779$ кг/м³). Зниження вологості до 4-4,5 % або її підвищення до 12 % призводить до зростання щільності через зміну структури шихти [27]. Зокрема:

- ✓ при низькій вологості (до 4 %) підвищена сипкість сприяє збільшенню

насипної щільності до 820-845 кг/м³;

✓ при високій вологості (до 12 %) спостерігається агрегація дрібних частинок, їх окомкування та збільшення середнього діаметра зерен з 2,34 до 4,07 мм, що також призводить до підвищення щільності (871-896 кг/м³).

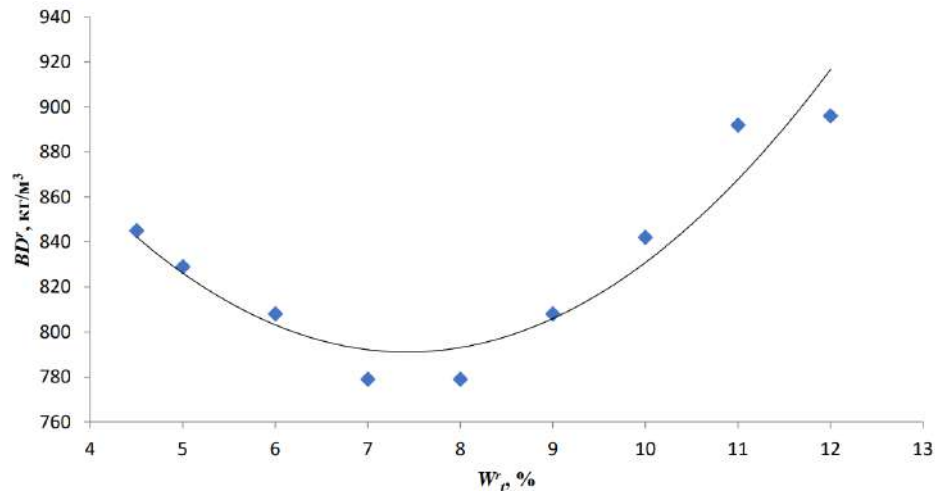


Рис. 2.7 Графік залежності насипної щільності від робочої вологості вугільної шихти № 1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [27]

Оптимальний рівень вологості шихти в межах 7-8 % забезпечує мінімальну насипну щільність, рівномірність завантаження коксових батарей і високий рівень ефективності процесу коксування.

2.4 Впровадження технологій і комбінування прийомів для досягнення мети

Вуглепідготовка є одним з найбільш важливих етапів у процесі коксування, від якого залежить не лише якість кінцевого продукту (коксу), але й ефективність і сталий розвиток усієї коксохімічної промисловості. Для досягнення максимальної ефективності підготовки вугілля необхідно комбінувати різноманітні технологічні прийоми, впроваджуючи передові методи та інноваційні технології. Це дозволяє вирішити низку ключових задач, таких як підвищення якості шихти, зменшення витрат на енергоспоживання, покращення екологічної ситуації на підприємствах і зниження втрат сировини [31].

1. Комбінування технологій дроблення та грохочення.

Одним із важливих напрямків підвищення ефективності вуглепідготовки є комбінування різних методів дроблення та сортування вугілля. Наприклад, на деяких підприємствах для покращення результатів дроблення використовують щоківі та валкові дробарки в поєднанні з вібраційними грохотами. Це дозволяє не тільки досягти оптимального розміру часток вугілля, але й знижує енергетичні витрати, оскільки забезпечує ефективне розділення дрібних фракцій та сторонніх домішок з мінімальними енергозатратами.

Поєднання таких технологій допомагає також знизити кількість пилу, що є важливим екологічним аспектом, і покращує процеси транспортування вугілля в подальші етапи обробки.

Велика енергоємність процесів дроблення і особливо подрібнення примушує подавати в дробарку або млин тільки ту фракцію, яку потрібно дробити, заздалегідь відділяючи більш дрібні фракції. Це вимагає комбінування процесів дроблення з грохоченням і подрібнення з класифікацією. На рис. 2.8 показані принципові технологічні схеми дроблення.

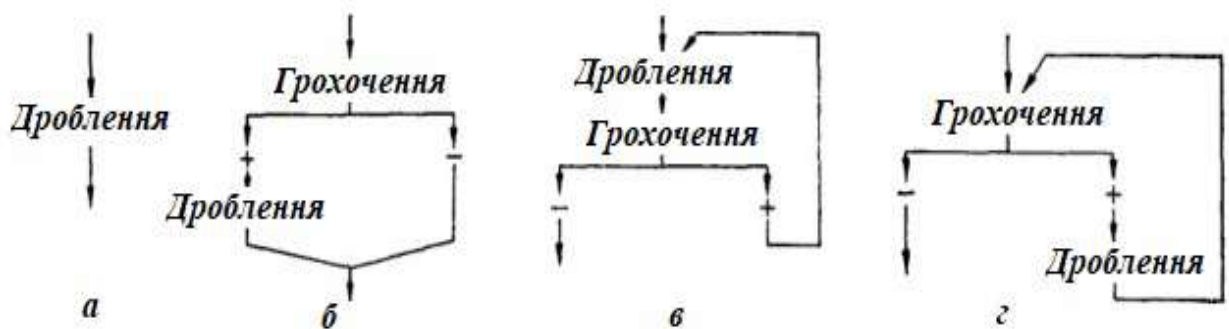


Рис. 2.8 Схеми дроблення

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [31].

Відкритий цикл без грохоченням (рис. 2.8, а) є неефективним, оскільки дробарка завантажується дрібною фракцією, що є у висхідному матеріалі. Відкритий цикл з попереднім грохоченням (рис. 2.8, б) дозволяє понизити потужність дробарки. Замкнутий цикл з перевірочним грохоченням (рис. 2.8, в)

дає можливість отримати продукт строго заданої крупності, але додатково завантажує дробарку. Нарешті, замкнутий цикл з попереднім грохоченням (рис. 2.8, г) дозволяє отримати задану крупність і звільняє дробарку від зайвого завантаження.

Грохочення – розділення, або сортування, матеріалів по крупності на механічних ситах, а розділення матеріалів при падінні у воді або повітрі – повітряною або гідравлічною класифікацією. Грохоченням розділяються матеріали до крупності 1-3 мм, а більш дрібні – класифікацією. Основними показниками цих процесів є: продуктивність, що вимірюється масою початкового (що поступив на грохот) продукту, і ефективність, що вимірюється коефіцієнтом корисної дії процесу.

2. Автоматизація процесів та цифрові технології

Одним із найбільш ефективних способів досягнення мети вуглепідготовки є впровадження автоматизованих систем управління. Наприклад, застосування АСУ ТП (автоматизовані системи управління технологічними процесами) дозволяє в реальному часі контролювати параметри вологості, розмірної класифікації та змішування вугілля. АСУ ТП має 2-3 рівні й виконує наступні функції:

- збирання інформації;
 - підтримування заданих значень на технологічних параметрах,
 - контроль за технологічними параметрами, для яких не виконуються функції регулювання;
 - сигналізація,
 - блокування управлінь, які є результатом помилкових дій технологічного персоналу;
 - протиаварійний захист (ПАЗ) у разі виникнення аварійних ситуацій.
- Спрощено структуру АСУТП можна подати в такому вигляді (рис. 2.9).

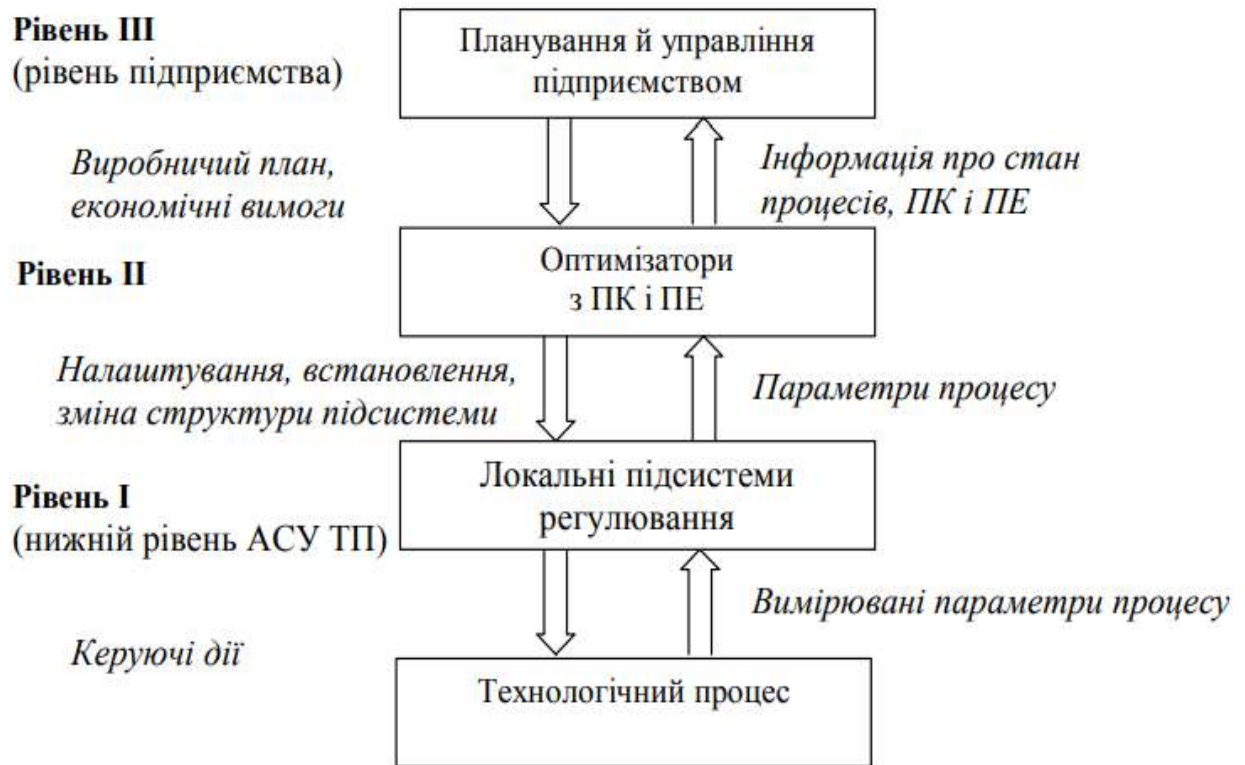


Рис. 2.9 Структура інформаційних потоків АСУ ТП

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [32].

Впровадження таких систем дозволяє зменшити витрати енергії та час на налаштування технологічного обладнання, а також підвищити стабільність і якість шихти.

Перший рівень АСУ ТП включає датчики, виконавчі механізми та контролери, розміщені безпосередньо на технологічних об'єктах. Їхні завдання:

- ✓ вимірювання параметрів процесу та передача даних на вищі рівні;
- ✓ виконання управляючих дій на основі отриманих сигналів;
- ✓ сигналізація про вихід параметрів за межі;
- ✓ захист від помилкових дій персоналу та пристроїв;
- ✓ зміна конфігурації систем (ручне управління, блокування).

На цьому рівні оптимізують процеси за технологічними показниками.

Другий рівень, рівень цеху, відповідає за:

- ✓ збір, обробку та зберігання даних з нижнього рівня;
- ✓ формування управляючих сигналів;

- ✓ передачу інформації на верхній рівень;
- ✓ обчислення невимірюваних параметрів, матеріальні баланси;
- ✓ архівування та звітність;
- ✓ діагностику збоїв.

Цей рівень об'єднує операторську частину, систему звітності та аналізу тенденцій, забезпечуючи зв'язок між оператором і процесом.

Третій рівень – рівень управління підприємством (АСУП), включає:

- ✓ контроль і оптимізацію виробництва за техніко-економічними показниками;
- ✓ складання виробничих планів;
- ✓ архівування даних та аналітику;
- ✓ протиаварійний захист.

Цей рівень використовує потужні комп'ютери з базами даних та SCADA-системи для зберігання, аналізу та візуалізації інформації.

Деякі функції другого та третього рівнів можуть перетинатися, а у випадках їхнього об'єднання формується єдиний центр управління [32].

Завдяки використанню цифрових сенсорів та моделей прогнозування можна оптимізувати склад шихти, адаптуючи його до конкретних умов коксування. Це дозволяє досягти максимальної ефективності виробничого процесу, знижуючи витрати на сировину та енергоресурси.

3. Комбінування механічних і хімічних методів обробки вугілля

Для покращення властивостей вугільної шихти застосовуються не лише механічні методи обробки (дроблення, грохочення, змішування), але й хімічні методи, які дозволяють підвищити її активність та міцність. Комбінування цих підходів, наприклад, шляхом використання пластифікаторів або каталітичних добавок, може забезпечити значне покращення процесу коксування, знижуючи утворення відходів і підвищуючи вихід коксу.

Використання хімічних добавок для покращення властивостей вугілля дозволяє не лише збільшити його об'ємну масу, але й забезпечити більш

ефективне коксування, зменшити кількість шкідливих викидів у атмосферу та підвищити екологічну чистоту процесу.

4. Інтеграція енергозберігаючих технологій

Одним із важливих аспектів для досягнення мети є комбінування енергозберігаючих технологій на різних етапах вуглепідготовки. Наприклад, на деяких підприємствах застосовуються рекупераційні системи, які дозволяють використовувати теплоту від відпрацьованих газів для підігріву вугілля або інших процесів, що знижує споживання енергії.

Також велике значення має використання енергоефективного обладнання, такого як високопродуктивні дробарки з мінімальними втратами енергії та вибір оптимальних грохотів, що зменшує загальні витрати на енергоспоживання в цеху.

5. Покращення екологічних показників шляхом комбінування фільтраційних технологій

Для забезпечення екологічної безпеки виробництва важливо комбінувати різні методи очищення газів і вод. Наприклад, використання рукавних фільтрів в поєднанні з аспіраційними установками дозволяє знижувати викиди пилу в атмосферу, що є важливим аспектом для покращення екологічних характеристик підприємства. Також активно впроваджуються системи мокрої очистки для зменшення концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Таким чином, комбінування різноманітних технологій та методів вуглепідготовки дозволяє досягти високої ефективності у виробництві коксу, підвищити якість шихти та знизити витрати на енергоресурси. Водночас це дозволяє значно поліпшити екологічні показники підприємств, що є важливим фактором для сталого розвитку коксохімічної промисловості.

2.5 Екологічні аспекти роботи вуглепідготовчого цеху

Вуглепідготовчий цех є ключовим підрозділом на підприємстві, яке займається виробництвом коксу. В умовах сучасних вимог до екології, цей цех

має значний вплив на навколишнє середовище. Процес підготовки вугілля до коксування супроводжується різними шкідливими викидами, які можуть впливати на атмосферу, водні ресурси та навколишнє середовище в цілому. Тому екологічні аспекти роботи вуглепідготовчого цеху є надзвичайно важливими і потребують постійного контролю та модернізації.

1. Викиди в атмосферу

Основними забруднювачами атмосфери в процесі вуглепідготовки є пил, діоксиди сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та інші шкідливі гази, що утворюються під час подрібнення, зберігання та транспортування вугілля [33]. Процес дроблення і грохочення вугілля супроводжується значними викидами пилу, що негативно впливає на здоров'я працівників та якість повітря в навколишньому середовищі.

Для зменшення цих викидів на ПрАТ «Запоріжжкокс» впроваджено ряд екологічних заходів [34], зокрема:

- використання систем пиловловлювання на всіх етапах обробки вугілля, зокрема на дробарках і грохотах.
- встановлення фільтраційних систем, таких як рукавні фільтри, які дозволяють знижувати викиди пилу на рівень, відповідний нормативам.
- інтеграція вибухопоглинальних систем, що допомагають запобігати виникненню пилових вибухів та зменшують забруднення.

2. Водні ресурси та очищення стічних вод

Під час роботи вуглепідготовчого цеху утворюються стічні води, що містять забруднюючі речовини, такі як важкі метали, органічні сполуки та залишки пилу. Вода, яка використовується для охолодження обладнання та технологічних процесів, може містити високі концентрації шкідливих компонентів.

Для зниження забруднення водних ресурсів «Запоріжжкокс» застосовує:

- 1) Цикл замкнутого водопостачання, що дозволяє значно знизити споживання води та обмежити скидання стічних вод у навколишнє середовище.

2) Системи очищення стічних вод, що включають флотаційні установки, фільтрацію та хімічне очищення, що дозволяє забезпечити відповідність води до встановлених екологічних стандартів.

3. Шумове забруднення

Дроблення та грохочення вугілля супроводжуються значними рівнями шуму, що може впливати на здоров'я працівників та місцеве населення. Шум, що утворюється в результаті роботи дробарок і транспортування матеріалу, є одним з важливих екологічних аспектів, який необхідно контролювати.

Для зниження рівня шумового забруднення на ПрАТ «Запоріжжкокс» впроваджено:

- ✓ шумопоглинальні конструкції на обладнанні.
- ✓ використання тихих технологій дроблення та вибір обладнання з низьким рівнем шуму.
- ✓ постійний моніторинг рівнів шуму в робочих зонах і в межах підприємства для забезпечення безпеки працівників.

4. Зниження впливу на екосистему

Важливою частиною екологічної політики ПрАТ «Запоріжжкокс» є забезпечення мінімального негативного впливу на навколишні екосистеми. Окрім контролю за забрудненням повітря та води, підприємство проводить:

- 1) Постійний моніторинг стану ґрунтів та екосистем поблизу підприємства.
- 2) Впровадження рекультиваційних заходів для відновлення земель, які зазнали забруднення в результаті виробничої діяльності.
- 3) Організація зелених зон на території підприємства, що сприяє покращенню якості повітря та створює сприятливі умови для місцевої флори та фауни.

5. Екологічний контроль та стандарти

З метою забезпечення належного рівня екологічної безпеки ПрАТ «Запоріжжкокс» здійснює постійний контроль за дотриманням екологічних стандартів [35]:

- ведення моніторингу викидів в атмосферу, якість стічних вод і рівень

шуму на регулярній основі.

➤ оцінка відповідності підприємства міжнародним екологічним стандартам, таким як ISO 14001.

➤ співпраця з екологічними органами для своєчасного реагування на будь-які порушення екологічних норм.

Екологічні аспекти роботи вуглепідготовчого цеху ПрАТ «Запоріжжкокс» є важливим напрямком для забезпечення стійкості та безпеки виробничого процесу. Впровадження технологій для зменшення викидів, використання систем очищення стічних вод та зниження рівня шумового забруднення є ключовими заходами для мінімізації впливу на навколишнє середовище. У майбутньому підприємство може продовжити розвиток екологічних ініціатив, орієнтуючись на найсучасніші технології, що забезпечать ще більшу енергоефективність і екологічну безпеку.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено сучасні вимоги до якості коксу, які визначають його фізико-хімічні, механічні та технологічні властивості. Показано, що якість коксу суттєво впливає на ефективність доменного виробництва.

2. Проведено аналіз сировинної бази коксохімічних підприємств України. Виокремлено проблеми низької якості українського вугілля та обмеженого доступу до сировини через геополітичні обставини.

3. Розглянуто основні технології, які використовуються для покращення характеристик коксу, включаючи підготовку сировини, коксування та післякамерну обробку.

4. Обґрунтовано необхідність розширення сировинної бази шляхом імпорту високоякісного вугілля, освоєння нових родовищ та використання альтернативних джерел вуглецю.

5. Проаналізовано вплив гранулометричного складу на щільність шихти. Оптимізація подрібнення та сортування сприяє підвищенню насипної маси і покращенню характеристик коксу.

6. Визначено роль вологості вугільної шихти у формуванні її фізико-механічних властивостей. Регулювання вологості дозволяє покращити адгезію частинок та забезпечити ефективніше ущільнення.

7. Описано технологічні методи ущільнення, такі як трамбування та брикетування. Їх впровадження забезпечує зростання насипної маси, зменшення стиранності коксу та покращення його міцності.

8. Розглянуто досвід впровадження технологічних рішень на прикладі ПрАТ «Запоріжжкокс», що підтвердило їх ефективність у промислових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуревич С. М., Носков А. В., Харкац Ю. И. Технология кокса. Москва: Металлургия, 2010. с. 328.
2. Білецький В. С., Ошовський В. В. Кокс. *Енциклопедія Сучасної України*. 2013. Енциклопедична стаття. Кокс. URL: <https://esu.com.ua/article-8077>
3. Атаманюк О. А., Касімов О. М. Аналіз та перспективи окремих систем охорони навколишнього середовища на вуглевидобувних та вуглепереробних підприємствах України. *Вуглехімічний журнал*. 2021. №5. с. 15-25.
4. Редакционная статья. Кокс. Коксохимическое производство. Технологическое топливо. URL: <https://www.metaljournal.com.ua/coke-coke-production>
5. Верховна Рада України. Про затвердження нормативів: Закон № 0271817-11 від 2011. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0271817-11#Text>.
6. Бутузова Л. Ф., Маковський Р. В., Клешня Г. Г. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. с. 73.
7. Белянська О. Р. Технологія вуглецевих матеріалів: конспект лекцій. Ч 1. Кам'янське: ДДТУ, 2019. с. 28.
8. Белянська О.Р., Нагорний Ю.С., Кришень І.Г. Технологія вуглецевих матеріалів: конспект лекцій. Ч. 2. Дніпро: ДДТУ. 2019. с. 8-10.
9. Саблин А. В. Химическая технология топлива и углеродных материалов. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2020. с. 25.
10. Рудыка В. И. Справочник коксохимика: в 2 т. Харьков: ИНЖЭК, 2014. Т. 2: Производство кокса. с. 728.
11. Аронов С. Г., Скляр М. Г., Тютюнников Ю. Б. Комплексная химико-технологическая переработка углей. Киев: Техніка, 1968. с. 264.
12. Бабенков А. И. Коксование углей. URL: <https://patents.su/metka/uglya/page/42>
13. Кретинин М. В. Механотехнологические аспекты производства кокса. Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2009. с. 328.

14. Мирошниченко І. В., Фатенко С. В., Мірошниченко Д. В., Шульга І. В. Розширення сировинної бази коксування та поліпшення властивостей коксу як доменного палива: монографія. Харків: Крок, 2021. с. 254.
15. Мірошниченко Д. В. Дробильні властивості вугілля. Кокс і хімія: журнал. 2013. №56 (12). с. 449-455.
16. Лялюк В. П., Соколова В. П., Ляхова І. А., Кассім Д. А., Шмельцер Е. О. Раціональні ступені дроблення вугільних шихт для коксування з високим вмістом жирного вугілля. Гірничий вісник. 2013. №96. с. 170-173.
17. Nomura S., Arima T., Dobashi A., Doi K. Coking Pressure Control By Selective Crushing Of High Coking Pressure Coal. ISIJ International. 2011. Vol. 51, Issue 9. p. 1425-1431.
18. Rejda M., Wasielewski R. Mechanical Compaction Of Coking Coals For Carbonization In Stamp-Charging Coke Oven Batteries. Physicochem. Probl. Miner. Process. 2015. Vol. 51, Issue 1. p. 151–161.
19. Белошапка И. В., Сикан И. И., Василенко Б. Я. и др. Влияние качества угольных концентратов на их насыпную плотность. Углекимический журнал. 2011. №3–4. с. 9-12.
20. Мещанін В. І. Вплив вологи вугільної шихти на її підготовку до коксування: дис. ... д-ра філософії: УДК 669.1. Харків, 2022. с. 164.
21. Скрипченко Н. П., Худокормов А. П., Косминский А. В. и др. Разработка метода определения насыпной плотности углей в УПЦ-2 ПАО «АКХЗ». Углекимический журнал. 2013. №5. с. 23-27.
22. Elliott M. A. Chemistry of coal utilization. Second Supplementary Volume. New York: John Wiley & Sons Inc., 1981.
23. Десна Н. А., Мірошниченко Д. В., Мірошниченко І. В., Мещанін В. І., Коваль В. В. Вплив вологості вугільної шихти на її насипну щільність. Вуглекімічний журнал. 2013. №1. с. 10-19.
24. Десна Н. А. Модифікація властивостей продуктів коксохімічного виробництва: конспект лекцій. Кривий Ріг: ННТІ, 2020. с. 63.

25. Десна Н. А., Мирошниченко Д. В., Мирошниченко І. В., Мещанін В. І., Коваль В. В. Влияние влажности угольной шихты на ее насыпную плотность. Углекимический журнал. с. 14.
26. Диденко В. Е. Технология приготовления угольных шихт для коксования. Киев: Вища школа, 1989. с. 288.
27. Гусак В. Г., Мирошниченко Д. В. Получение кокса улучшенного качества в условиях межбассейновой сырьевой базы ПАО «Запорожжкокс». Углекимический журнал. 2012. №1–2. с. 11.
28. Чернышов Ю. А., Овчинникова С. А., Подлубный А. В. и др. Использование петрографических характеристик и новых комплексных показателей для оценки свойств углей и межбассейновых шихт ОАО «Запорожжкокс». Углекимический журнал. 2009. №1–2. с. 142.
29. Руденко М. Р. Металургія чорних металів. Розділ 1. Теорія та технологія процесів підготовки сировини до плавки: конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2019. с. 76.
30. Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Михайлов В. М., Загорулько О. Є. Автоматизація виробничих процесів: підручник. Харків: ХДУХТ, 2014. с. 186.
31. Тищук В.Ю., Ковальова І.Б., Бондаренко В.Ю. Захист повітряного середовища від шкідливих викидів коксохімічного виробництва. Матеріали конференції "Розвиток промисловості та суспільства". Том 2. 2018. с. 3-4.
32. Хавікова К. Є., Іванченко А. В. Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування: журнал. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА № 2, 2018. с.26.
33. Хільчевський В. К. Екологічна стандартизація та запобігання впливу відходів на довкілля. Навчальний посібник. Київ: ВПЦ "Київський Університет", 2016. с. 192.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Соколенко Альони Олегівни

(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 вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси

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

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

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

Завідувач кафедри

Зелла
(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 15 » січня 2025 р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

магістра

Здобувачки Соколенко Альони Олегівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Модифікація властивостей вугільних шихт за рахунок збільшення її
насипної маси

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>67;</u>
таблиць	<u>9;</u>
схем і рисунків	<u>11;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи магістра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вибору технологій для
підготовки вугільних шихт які покращать якість коксу шляхом підвищення
насипної маси вугільної шихти в камері коксування.

В кваліфікаційній роботі на основі розглянутих літературних джерел
проведений аналіз існуючих технологій підготовки вугільних шихт до
коксування з метою підвищення насипної маси вугільної шихти.

Більшість розглянутих технологій потребують значних капіталовкладень та
значного часу на реконструкцію підприємства.

В кваліфікаційній роботі досліджені технології, які можна впровадити на
працюючих підприємствах, не потребують тривалих зупинок чи високих
капітальних залучень. Показано, що такі технології дозволяють підвищити
насипну масу вугільної шихти і тим самим призводять до підвищення якості
коксу. Запропоновані поєднання технологій зміни вологи вугільної шихти і
відсіву дрібних класів для підвищення результату.

Розглянуті питання автоматизації виробництва у вуглепідготовчому цеху
та в цілому на підприємстві. Розроблені основні принципи захисту
навколишнього середовища.

Недоліки кваліфікаційної роботи магістра
(бакалавра, магістра)

В роботі не достатньо докладно розкриті промислові дослідження впровадження технології відсіву дрібних класів, та не показаних ефект підвищення якості коксу. Не відзначені показники якості вугільної шихти при впровадженні технології підвищення вологості в літній період та вплив на якість коксу. В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий переклад.

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

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

Можливість використання кваліфікаційної роботи магістра

Запропоновані рішення та рекомендації по реконструкції вуглепідготовчого цеху ПрАТ «Запоріжжкокс» можна використати в якості базової моделі для реконструкції вуглепідготовчого цеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з метою підвищення якісних характеристик коксу за показниками M_{25} та M_{10} .

Оцінка кваліфікаційної роботи магістра відмінно, 90, А

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

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


(підпис)

« 15 » 01 2025 р.

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

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

Я, Соколенко Альона Олегівна, студент II курсу, групи ЗХТ-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



А. Соколенко

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 вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Соколенко Альона Олегівна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 68 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 17,89 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку, опублікування)
на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Керівник підрозділу


(підпис)

К. Шмельцер

Дата «14» січня 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
(бакалавра, магістра)
Здобувача Соколенко Альони Олегівни
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Модифікація властивостей вугільних шихт за рахунок збільшення її насипної маси</u>
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Вибір та обґрунтування перспективної технології підвищення насипної маси вугільної шихти з метою поліпшення якості коксу для доменної плавки</u>
Переваги кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Проведений аналіз сучасних якісних характеристик коксу та показників якості шихти, та оцінений їх вплив на якість коксу. Розглянуті технології підвищення насипної маси коксу з метою розширення сировинної бази коксування чи підвищення якісних показників коксу. Запропоновані технологічні прийоми підвищення насипної маси вугільної шихти які можна застосовувати на працюючих підприємствах без довготривалих реконструкцій.</u>
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Недостатньо докладно розкрито результати дослідно-промислового експерименту з впровадження технології відсіву дрібних класів.</u>
Рекомендації:
Рецензент <u>Шалевська Катерина Олегівна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

(підпис)