

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра металургії
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

(магістрський) другий
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз та вдосконалення процесів
пекучання вугілля

Виконав: студент 2 курсу, групи 8,1369нчм-3
спеціальності 136 "Металурія"
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металурія горючих металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Р. В. Ермолов
(ініціали та прізвище)

Керівник доц, к.т.н. Кириченко О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц, к.т.н. Валер Р.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Металургії

Рівень вищої освіти (магістрський) другий

Спеціальність 136 "Металургія"
(код та назва)

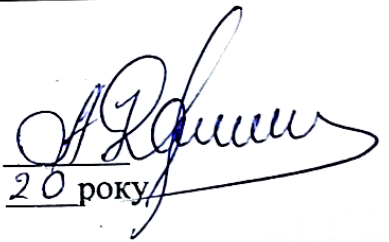
Освітня програма Металургія корисних металів
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 2 » вересня 20 20 року



З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ерштов Петро Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз та вдосконалення процесів коксування вугілля

керівник роботи Курченко Олексій Геннадійович к.т.н доц
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 9 » 10 2020 року № 1586-с

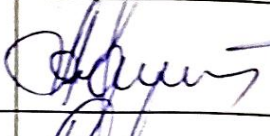

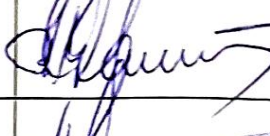


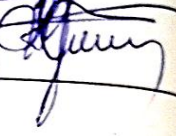
2 Строк подання студентом роботи 01.12.2020

3 Вихідні дані до роботи Аналіз та вдосконалення процесів коксування вугілля. Науково-технічна література авторами свідомства.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Резюме. Вступ. Аналітичний огляд сучасних процесів в коксуванні вугілля. Методичні проведення експериментів. Вдосконалення процесів в коксуванні вугілля. Висновки. Перелік джерел пошування.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Розділ 1, розділ 2, розділ 3, 12-креслень.

6 Консультанти розділів роботи

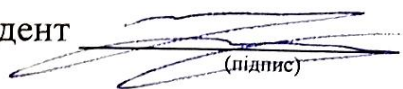
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналітичний огляд ситуації проекту в пошуку виходу з кризи	Кирichenko O.T. doc		
2. Методи проведення експериментів	Кирichenko O.T. doc		
3. Дослідження методологічних аспектів	Кирichenko O.T. doc		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Резюме.	01.09.2020 - 15.09.2020	
2	Аналітичний огляд ситуації проекту в пошуку виходу з кризи	16.09.2020 - 23.09.2020	
3	Методи проведення експериментів і використання вихідних матеріалів	24.09.2020 - 14.10.2020	
4	Дослідження методологічних аспектів в будівництві проекту в пошуку виходу з кризи	15.10.2020 - 30.11.2020	
5	Транзитна частина	01.12.2020 - 10.12.2020	

Студент

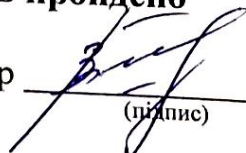

(підпис)P. B. Ermakov
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)


(підпис)O.T. Kirichenko
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)P.M. Voler
(ініціали та прізвище)

Реферат

Розрахунково-пояснювальна записка: 90 с., 14 табл., 23 рис., 49 джерел.

КОКС, ШИХТА, ЯКІСТЬ, ФАКТОРИ, ВУГІЛЛЯ, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ

Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз та вдосконалення процесів коксування вугілля.

Мета роботи – узагальнення досвіду отримання високоякісного коксу з аналізом основних факторів в процесі виробництва.

У розділі 1 надано аналіз коксохімічного виробництва в контексті тенденцій світового ринку коксу; проаналізовані шляхи вдосконалення технології підготовки вугілля для коксування; узагальнені нові технології коксування вугілля.

У розділі 2 представлена методика проведення експериментів.

У розділі 3 проведені дослідження технологічних прийомів вдосконалення процесів коксування вугілля, а саме підготовка сировинних матеріалів до металургійного переділу; розроблені моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти; досліджено використання неспікливих добавок у виробництві коксу; досліджено вплив вмісту вологи у вугільній шихті на якість доменного коксу.

Проведений аналіз та дослідження рекомендується для дослідно-промислового впровадження в коксохімічних цехах України.

АНОТАЦІЯ

Єрмаков П.В. Аналіз та вдосконалення процесів коксування вугілля.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Металургія, науковий керівник О.Г.Кириченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра металургії, 2020.

У роботі ставиться завдання проаналізувати та розробити технологічні передумови вдосконалення сучасних процесів коксування металургійного коксу.

Надано аналіз коксохімічного виробництва в контексті тенденцій світового ринку коксу; проаналізовані шляхи вдосконалення технології підготовки вугілля для коксування; узагальнені нові технології коксування вугілля.

Проведені дослідження підготовки сировинних матеріалів до металургійного переділу; розроблені моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти; досліджено використання неспікливих добавок у виробництві коксу; досліджено вплив вмісту вологи у вугільній шихті на якість доменного коксу.

Ключові слова: КОКС, ШИХТА, ЯКІСТЬ, ФАКТОРИ, ВУГІЛЛЯ, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ.

АННОТАЦИЯ

Єрмаков П. Анализ и совершенствование процессов коксования угля.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 - Металлургия, научный руководитель О.Г.Кириченко. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно-научный институт, кафедра металлургии, 2020.

В работе ставится задача проанализировать и разработать технологические предпосылки совершенствования современных процессов коксования металлургического кокса.

Дан анализ коксохимического производства в контексте тенденций мирового рынка кокса; проанализированы пути совершенствования технологии подготовки углей для коксования; обобщены новые технологии коксования угля.

Проведены исследования подготовки сырьевых материалов к металлургическому переделу; разработаны модели прогноза качества доменного кокса на основе химического состава золы угольной шихты; исследовано использование неспекающихся добавок в производстве кокса; исследовано влияние содержания влаги в угольной шихте на качество доменного кокса.

Ключевые слова: КОКС, ШИХТА, КАЧЕСТВО, ФАКТОРЫ, УГОЛЬ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА.

ANNOTATION

Yermakov P.V. Analysis and improvement of coal coking processes.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 136 - Metallurgy, supervisor O.G. Kirichenko. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Metallurgy, 2020.

The paper aims to analyze and develop technological prerequisites for improving modern coking processes of metallurgical coke.

The analysis of coke chemical production in the context of world coke market trends is given; analyzed ways to improve the technology of preparation of coal for coking; generalized new technologies of coal coking.

Researches of preparation of raw materials for metallurgical redistribution are carried out; developed models for blast furnace coke quality forecast based on the chemical composition of coal charge ash; the use of non-sintering additives in coke production has been studied; the influence of moisture content in the coal charge on the quality of blast furnace coke was investigated.

Key words: COKE, BATCH, QUALITY, FACTORS, COAL, STRUCTURE, PROPERTIES.

Зміст

Загальна характеристика роботи.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОЦЕСІВ КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ.....	11
1.1 Коксохімічне виробництво в контексті тенденцій світового ринку коксу.....	11
1.2 Шляхи вдосконалення технології підготовки вугілля для коксування.....	21
1.3 Нові технології коксування вугілля.....	34
1.3.1 Виробництво коксу за технологією SCOPE 21.....	36
1.3.2 Коксування трамбованої вугільної шихти.....	37
1.3.3 Технологія регулювання вологості вугільної шихти.....	39
1.3.4 Процеси регулювання вологості і підсушування вугільної шихти з кускуванням її пилоподібних класів.....	40
1.3.5 Контроль вогнетривкої кладки регенераторів коксової батареї.....	41
1.3.6 Технологія коксування без уловлювання хімічних продуктів.....	42
1.3.6.1 Технологія виробництва коксу компанії «Indiana Harbor Coke Company LTD».....	44
1.3.6.2 Технологія виробництва коксу компанії «Shanxi Sinochem Wonder Industries Company LTD».....	45
1.3.7 Новий продукт - замітник доменного коксу.....	46
2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ І ВИКОРИСТОВУВАНІ МАТЕРІАЛИ.....	50
2.1 Визначення вмісту води у вугіллі (W^a).....	50
2.2 Визначення золи в аналітичній пробі вугілля (A^c).....	51
2.3 Визначення виходу летких речовин (V^T).....	52
2.4 Визначення сірки в вугіллі.....	53
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ.....	56
3.1 Підготовка сировинних матеріалів до металургійного переділу.....	56

3.2 Розробка моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти.....	61
3.3 Дослідження використання неспікливих добавок у виробництві коксу.....	67
3.4 Дослідження впливу вмісту вологи у вугільній шихті на якість доменного коксу.....	76
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми. В останні роки стрімке зростання світової виплавки чавуну і сталі тримає в постійній напрузі коксове виробництво, висуваючи перед ним нові вимоги і завдання за кількісним та якісним забезпеченням металургії коксом. Ці обставини, а також численні внутрішні проблеми (повсюдне старіння коксових заводів і основних агрегатів - коксових батарей, напруженість із забезпеченням в достатньому обсязі вугіллям для коксування, все більш жорсткі вимоги до екологічної безпеки, нестабільність світового ринку коксу та ін.) Роблять життя власників коксового виробництва далеко не безхмарним. І українська коксохімія, що входить в першу п'ятірку світових виробників коксу та інтегрована в національний і світовий гірничо-металургійні комплекси, не є винятком.

Металургія переживає відродження, частка її в світовому валовому продукті і далі буде рости, коксове виробництво одужує - так оцінюють експерти нинішній стан однієї з ключових галузей світової економіки. Якщо вчора йшлося про надлишкові потужності, стагнації зростання, довготривалому падінні цін, уповільненому поверненню коштів акціонерам, то сьогодні про металургію говорять як про зростаючу, прибутковою, перспективної галузі.

На початку ХХІ століття світова металургія встановила рекорд, переступивши мільярдну позначку виплавки сталі.

Все це говорить про те, що виробництво сталі і далі буде рости, відповідно, буде рости попит на залізну руду, а виробництво коксу і видобуток коксівного вугілля отримують хороший шанс для подальшого розвитку.

Про те, що в металургії знову має місце позитивна динаміка, свідчить також намітилася тенденція зростання цін на металопродукцію, що підкріплюється прогнозом, що ці ціни будуть залишатися високими.

Очікують, що споживання сталі і далі буде рости. Триває глобалізація сталеливарного виробництва: вже сьогодні п'ять найбільших компаній (Arcelor Mittal, Nippon Steel, Tata + Corus) виробляють 20% світового обсягу сталі.

Наявність надлишкових для українського ринку потужностей при слабкому попиті на українську продукцію з боку експортного ринку; брак коксівного вугілля, відсутність дешевої транспортної інфраструктури – головні камені спотикання вітчизняної коксохімії.

В умовах жорсткої конкуренції на експортних ринках з боку російських та китайських виробників коксу, надлишкові потужності українських коксохіміїв призводять до ще більшої їх залежності від внутрішнього попиту. Висока собівартість українського коксу обмежує попит з боку інших галузей і замикається, в основному, на металургії. Неоднорідне розподілення сталеливарних комбінатів і коксових заводів між українськими фінансовими групами при гострому дефіциті якісного коксівного вугілля приводить до парадоксу, коли наявність надлишкових коксових потужностей практично виключає можливість задоволення потреб українських меткомбінатів за рахунок внутрішнього виробництва.

Тоді як «кокові» активи залишаються відносно дешевими, придбання коксівного заводу зовсім не вирішує всіх проблем з постачаннями коксу для виробника сталі. Основні складності для виробників коксу пов'язані з постачаннями коксівного вугілля. Дефіцит вугілля для коксування оцінюється на рівні 8 млн. т – 10-11 млн т.

Необхідність імпорту зумовлена не просто нестачею товарного обсягу, але й принциповим браком в Україні спеціальних сортів вугілля, необхідних для виробництва коксу.

Тому основним завданням роботи було проведення аналізу, узагальнення та розробка сучасних вдосконалених процесів коксування вугілля.

Мета роботи – узагальнення досвіду отримання високоякісного коксу з впровадженням сучасних технологічних прийомів коксування вугілля. За допомогою виконаних досліджень довести технічні показники і необхідність зміни технології отримання коксу, що гарантує стабільність якості та хімічного складу.

Завдання роботи – на основі фізико-хімічних досліджень, використання останніх досягнень металургійної науки, розробити сучасні та перспективні

технологічні прийоми отримання високоякісного коксу оптимального складу. Це дозволить в значній мірі покращити якість коксу та прогнозувати його кінцевий хімічний склад.

Дана задача буде вирішуватися за рахунок сучасних засобів та методів аналізу та експериментальних підходів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити такі **завдання:**

1. Дослідити питання підготовки сировинних матеріалів до металургійного переділу;
2. Розробити моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти;
3. Дослідити використання неспікливих добавок у виробництві коксу;
4. Дослідити вплив вмісту вологи у вугільній шихті на якість доменного коксу.

Об'єкт дослідження – вдосконалення процесів коксування вугілля з аналізом основних факторів виробництва.

Предмет дослідження: закономірності і механізми фізико-хімічних процесів вдосконалених процесів коксування вугілля.

Методи досліджень: хімічний аналізи, мікроскопічний аналіз, петрографічний аналіз, фізичне моделювання процесів.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що спільне застосування трамбування шихти і сухого гасіння дозволяють отримати кокс з більш високими міцностними характеристиками, що відповідають вимогам ведення доменного процесу із застосуванням ПВП.

2. Встановлено, що введення в шихту **отощаючих** добавок (коксівий дріб'язок, пил УСТК і УБВК), з одного боку, дозволяє розширити сировинну базу коксування, а з іншого - утилізувати згадані продукти.

3. Встановлено, що введення добавок в певних кількостях (в більшості випадків - до 1% від маси шихти) дозволяє впливати на процеси, що протікають на стадії пластичного стану, для поліпшення характеристик міцності властивостей

коксу і збільшення виходу його великих класів, що особливо актуально при виробництві ливарного коксу.

Практичне значення:

1. Проведено аналіз роботи коксових печей з різними методами завантаження вугільної шихти і гасіння коксу.

2. Розроблено рекомендації щодо впровадження сучасних світових прийомів коксування вугілля на провідних вітчизняних підприємствах.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: XXV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів и викладачів ЗНУ. *Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Том I.* (Запоріжжя, 2020); XIII університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2020» (Запоріжжя, 2020); наукових семінарах кафедри металургії Запорізького національного університету.

Публікації

Основні результати роботи викладені в 2-х тезах конференцій.

Структура и об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 49 найменувань, викладена на 90 сторінках машинописного тексту, включаючи 23 рисунки, 14 таблиць.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОЦЕСІВ КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

1.1 Коксохімічне виробництво в контексті тенденцій світового ринку коксу

За даними Resource-Net (Брюссель, Бельгія), світове виробництво коксу складає майже 515 млн.т (суха вага).

Географія виробництва коксу істотно змінилася: його обсяги скоротилися майже у всіх регіонах, за винятком Азії, де з 1993 р. найбільшим виробником і експортером став Китай, в той час як Європа є найбільшим колективним імпортером коксу як за обсягом, так і за часткою імпорту в загальній кількості споживаного коксу [1].

Таблиця 1.1 - Виробництво коксу, млн.т (суха вага)

регіони	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Європа	54,656	49,759	47,305	48,946	50,436	49,218	51,274
СНД	49,6	48,858	49,228	53,417	55,472	50,138	51,350
Північна Америка	24,784	21,983	21,162	20,554	19,209	19,282	19,483
Латинська Америка	9,525	9,588	9,754	9,575	10,145	10,555	10,789
Країни Південної Африки	3,146	2,629	2,593	2,622	2,803	2,840	2,830
Близький і Середній Схід	5,879	5,783	5,581	5,744	5,765	5,792	5,943
Азія	192,678	199,582	211,874	246,938	276,381	326,046	369,919
Австралія	3,479	3,268	3,280	3,277	3,361	3,278	3,285
Всього, світове виробництво	343,746	341,451	350,776	391,073	423,572	467,150	514,873

Найбільшим європейським імпортером коксу є Німеччина. У зв'язку з недостатніми інвестиціями в створення нових потужностей варто очікувати збільшення імпорту коксу в Австрію, Чехію, Сербію, Словаччину та Швецію.

У Північній Америці основним імпортером коксу є США, в Латинській Америці - Бразилія, в Азії - Індія і Японія, на Близькому Сході - Іран.

Очікують, що інвестиції в виробництво будуть рости, особливо там, де зростання потужностей до цього дещо сповільнилося. Тривожить

незбалансованість ринку сталі, зокрема, можливість його перенасичення. У цьому сенсі особливе занепокоєння викликає Китай.

Китайський фактор

Роль і значення Китаю на нинішньому етапі розвитку світової металургії коротко можна охарактеризувати наступним чином.

Китай домінує в збільшенні виробництва металургійної продукції і збереже цю позицію в найближчі роки. Китай займає лідируюче місце за темпами введення нових потужностей в металургії.

Завдяки бурхливому зростанню виробництва сталі Китай перетворився в чистого експортера металопродукції. Китай є країною з найбільшою потребою в сталі. За даними Eurofer світова потреба в сталі склала 1,113 млрд. т, а Китаю - 356 млн.т. (32%).

Китай має найбільшу в світі кількість потужностей по виробництву коксу - 350 млн.т./рік, має 1400 коксових батарей, з них 56 з потужністю, що перевищує 1 млн.т./рік кожна.

В останні роки Китай стабільно постачає на світовий ринок близько 15 млн.т. коксу на рік, що становить практично 50% світової торгівлі коксом.

За оцінками експертів Китай буде залишатися основним джерелом нестабільності в світових постачаннях металургійної продукції.

Оскільки Китай домінує в світовій торгівлі коксом, то встановлювані в цій країні ціни на кокс роблять визначальний вплив на формування ціни на світовому ринку [2].

Виробничі потужності

Починаючи з 1980-х рр. більшість розвинених країн (Німеччина, США, Японія та ін.), які до цього дотримувалися принципу самозабезпечення коксом, сталі на шлях скорочення його виробництва, закриття підприємств і переорієнтації на світовий ринок коксу, який активно наповнювався Китаєм. Значною мірою це було пов'язано з новими екологічними стандартами, а також з тим, що в цей період світ почав відчувати постійно зростаючий дефіцит вугілля для коксування необхідної якості.

В результаті на початку нинішнього століття в світі утворився певний дефіцит коксу, і сформувалася домінуюча роль Китаю. Це призвело до різкого зростання цін на кокс.

Намітилася в останні роки тенденція створення нових і підтримки існуючих потужностей по виробництву коксу набуває незворотного характеру.

При цьому коксові батареї повсюдно застарівають. За оцінкою експертів, середній світовий вік батарей становить 23 роки (при загальноприйнятому середньому терміні експлуатації 20 років).

Склалося так, що в світовій металургії першочергову увагу, як правило, приділялося виробництву готової продукції. Туди в основному і вкладалися значні кошти. Тому світова коксохімія протязі останніх двох-трьох десятиліть переживала період застою, що в значній мірі позначилося як на стані основних агрегатів, так і на впровадженні принципово нових технологічних процесів.

В даний час лєвова частка металургійного коксу виробляється із застосуванням шарового процесу коксування в горизонтальних печах, скомпонованих в коксові батареї, що завантажуються вугільної шихтою або зверху, гравітаційним способом, або трамбованої шихтою, що завантажується у вигляді вугільного бруса збоку. Одержуваний при цьому коксовий газ вловлюється і переробляється в відповідних хімічних цехах.

Ця технологія продовжує залишатися основою виробництва коксу [3].

Сьогодні світова практика не має освоєними новими технологіями, які принципово змінили б існуючий шаровий процес коксування в горизонтальних печах. Та й замінити нині чинні агрегати шарового коксування будь-якими новими процесами в короткі терміни неможливо, бо для цього потрібні значні капітальні витрати і час.

В останні роки будівництво нових коксових заводів - явище нечасте, центр ваги з оновлення та модернізації потужностей припадає на діючі заводські площадки. Основний упор при цьому робиться на будівництво нових коксових батарей (там, де дозволяють територіальні умови) або на реконструкцію і технічне переозброєння існуючих батарей на сучасному технічному рівні.

У Німеччині, наприклад, набуло поширення будівництво коксових батарей з печами великого об'єму і шириною камери коксування до 600 мм. У 2003р. на коксохімічному заводі Швельгерн в Дуйсбурзі побудовані дві коксові батареї загальною потужністю по коксу 2,64 млн.т/рік з печами висотою 8,43 м, шириною 590 мм, об'ємом 93 м³.

Кілька років тому світовою спільнотою активно обговорювалася розроблена і апробована німецькими фахівцями в рамках ЄС нова система коксування (проект Eureka) в однокамерному реакторі великої місткості (до 150 м³), поки що не одержала промислового впровадження.

Японські коксохіміки намір при реконструкції або заміні зношених коксових батарей реалізувати розроблений ними проект SCOPE-21 - продуктивна екологічно чиста "суперпіч" XXI століття. У проекті поєднуються поділ вугільної шихти на класи в киплячому шарі, високошвидкісний нагрів до предпластичного стану, часткове брикетування, напівкоксування в горизонтальній печі, закінчення процесу коксування в форкамері установки сухого гасіння коксу.

У США поширення набула технологія виробництва коксу в горизонтальних печах без уловлювання хімічних продуктів коксування (з виробленням пара / електроенергії). Впровадженням цієї технології займаються також в Німеччині, Індії, Китаї, Австралії, Бразилії.

У Китаї ключовими технологіями, прийнятими для підвищення технічного рівня коксохімічного виробництва, є трамбування вугільної шихти, сухе гасіння коксу, будівництво печей великого об'єму і ін.

Реконструкцією і модернізацією коксових батарей активно займаються виробники коксу в Італії, Індії, Туреччини, Росії, Японії, Бразилії, Польщі та інших країнах.

Коксохімічне виробництво України

У 1980-і рр. Україна виробляла понад 40 млн.т коксу на рік. У 1990-1995гг. відбулося значне скорочення виробництва коксу, що було викликано зменшенням потреби в ньому металургійних та інших підприємств, а також дефіцитом

коксівного вугілля. Але з 1995 р. відбувається стійке зростання обсягів вироблення в Україні чавуну і коксу.

Обсяги виробництва коксу і його якість забезпечували в останні роки не тільки стійку роботу доменних печей України, а й - на деяких підприємствах - експортні поставки.

Коксохімічні підприємства України мають 56 діючих коксових батарей із загальною проектною потужністю 28,64 млн.т в рік валового коксу 6%-ї вологості.

Всі заводи були побудовані за технічною документацією Гіпрококсу і мають в своєму складі коксові печі з горизонтальними камерами коксування з об'ємом від 21,6 до 41,6 м³ висотою від 4300 до 7000 мм.

Раніше Україна завжди забезпечувала свою металургію власним коксом, не покладаючись на світовий ринок. З цією метою постійно проводилися модернізація і реконструкція існуючих потужностей з відновленням всіх основних фондів і будівництво нових батарей, що забезпечувало підприємства достатній резерв потужностей.

Надлишок потужностей і відсутність достатніх інвестицій в капітальне будівництво призвели до скорочення обсягу робіт по оновленню основних виробничих фондів. Зусилля власників в основному були спрямовані на продовження термінів служби батарей за допомогою ремонтів і експлуатаційних прийомів [4].

Незважаючи на виведення з експлуатації за останні роки більше 20 старих зношених коксових батарей і введення нових, середній термін служби 57 діючих батарей на січень 2017р. склав 34,19 року, 36 батарей, проектна потужність яких становить 62,55% від загальної, мали вік більше 20 років.

Знос основних виробничих фондів коксохімічних підприємств України складає більше 60%, знос машин і устаткування досяг 75-80%.

Експлуатація старих зношених коксових батарей пов'язана з істотним зниженням їх виробничої потужності, якість коксу падає, умови праці погіршуються, а шкідливих викидів стає все більше. Питомі експлуатаційні

витрати на 1 т коксу зростають в 1,5-2 рази, витрата енергоресурсів збільшується в 1,4-1,7 рази, продуктивність праці знижується в 1,8-2 рази.

Орієнтація на гранично можливе продовження термінів служби коксових батарей не вирішує проблему відтворення основних фондів на сучасному технічному рівні.

За економії коксохімічних підприємств і всього гірничо-металургійного комплексу України сильно вдарило масове закриття вугільних шахт в Донбасі і суттєве скорочення інвестицій у вугільну промисловість.

Оновлення пічного фонду здійснюється за допомогою реконструкції старих батарей або будівництва нових на існуючих заводських майданчиках, де дозволяє територія. Позитивні економічні показники роботи коксохімічних підприємств України в останні роки дозволяють їм виділяти необхідні для цього фінансові кошти [5].

Так, введені в експлуатацію новозбудовані та реконструйовані 4 коксові батареї загальною потужністю 2069 тис.т валового коксу 6%-ї вологості на підприємствах:

- ПАТ "МК" Азовсталь "- коксу батарею №4, проектна потужність 455 тис.т на рік;
- ПАТ "Ясинівський КХЗ" - коксу батарею №1, проектна потужність 454 тис.т на рік;
- ПАТ "Алчевськкокс" - коксу батарею №10-біс, проектна потужність 1 млн.т в рік;
- АТЗТ "Харківський КЗ" - коксу батарею №4-біс, проектна потужність 160тис.т в рік.

Технічна документація для цих батарей була виконана Гіпрококсом. Роботи з технічного переозброєння тривають. В даний час здійснюється реконструкція ще 8 коксових батарей загальною потужністю 3,96 млн т.

При реконструкції з модернізацією діючих коксових батарей за основу приймаються такі напрямки:

- збільшення потужності коксових батарей;
- поліпшення технологічних показників роботи;

- зниження питомих капітальних і експлуатаційних витрат;
- суттєве зменшення виробничих викидів в навколишнє середовище;
- автоматичне керування технологічним процесом і групами виробничих операцій;

- застосування технологічного обладнання, коксових машин і вогнетривких виробів, які відповідають вимогам технічного прогресу;

- утилізація тепла продуктів горіння і розпеченого коксу;

- поліпшення показників якості коксу;

- розширення сировинної бази коксування.

В останні роки Гіпрококсом розроблені два варіанти оптимальних технічних рішень з реконструкції коксових батарей:

I - реконструкція здійснюється як зі збереженням потужності батареї, так і з її збільшенням на 15-20% з максимально можливим використанням наявних будівель і споруд;

II - передбачається випереджаюче будівництво на вільній території або на місці існуючих батарей нових високопродуктивних коксових агрегатів потужністю 900-1250 тис.т/рік коксу 6%-ї вологості. Після пуску в експлуатацію нової батареї виводять з роботи існуючі батареї відповідної потужності [6].

В останні роки Гіпрококс і коксохімічні підприємства України приділяють серйозну увагу трьома основними напрямками, що визначають екологічну безпеку виробництва:

- зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу до рівня нормативно допустимих;

- виключення скидання забруднених стоків;

- ліквідація або повна утилізація шкідливих відходів виробництва.

На коксових батареях, в хімічному крилі і інших об'єктах впроваджується великий комплекс розроблених Гіпрококсом природоохоронних заходів (бездимне завантаження печей, безпилова видача коксу, колекторні системи збору викидів з хімічної апаратури і ін.). Істотну роль в скороченні виділення шкідливих викидів в навколишнє середовище грає технологія сухого гасіння коксу.

Установки сухого гасіння коксу (УСГК) конструкції Гіпрококсу успішно пропрацювали не один десяток років на Авдіївському КХЗ і Криворізькому меткомбінаті в Україні, а також в Росії, Японії, Польщі, Румунії, Бразилії, Індії, Пакистані, Туреччині, Угорщині, Фінляндії та Китаї.

В даний час на заводі "Алчевськкокс" в комплексі коксової батареї №10-біс здійснюється будівництво УСГК, що складається з 3 камер продуктивністю по 70т/год і 3 котлів-утилізаторів. Вперше у світовій практиці будуть експлуатуватися коксові батареї, що працюють на трамбованій шихті в поєднанні з технологією сухого гасіння коксу [7].

Кокс батареї, що реконструюється, №1-біс "Запоріжкокс" намічено також гасити сухим способом.

Особливості сировинної бази

В даний час коксохімічні заводи України зазнають труднощів із забезпеченням їх достатніми ресурсами вугілля для коксування. Пояснюється це наступними факторами:

- дефіцит коксівного вугілля і, перш за все, особливо цінних марок середніх (Ж і К) і високих (ОС) стадій метаморфізму, викликаний значним зниженням їх видобутку в Донецькому басейні через ускладнення гірничо-геологічних умов;
- зростання в шихті для коксування частки мало-метаморфізованого вугілля Донецького басейну (ДГ і Г) у зв'язку зі значними їх ресурсами і більш сприятливими умовами видобутку;
- підвищений вміст сірки в донецьких вугіллі (1-2,5%) і необхідність добавки в шихту малосірчистого вугілля ззовні.

Дефіцит донецького коксівного вугілля середніх і високих стадій метаморфізму і наявність значних запасів малометаморфізованого вугілля обумовлюють необхідність використання в Україні технологій підготовки шихти і її коксування, що дозволяють виробляти кокс з шихт з пайовою участю 50% і більше малометаморфізованого вугілля. З огляду на це, було виконано комплекс пошукових робіт по розробці і впровадженню в промислове виробництво

технологій, що дозволяють розширити сировинну базу в напрямку більш широкого використання слабо-спікливого вугілля [8].

Роботи велися за напрямками:

- виробництво формованого металургійного коксу;
- виборче подрібнення шихти з пневматичною сепарацією в відділювачах з киплячим шаром;
- термічна підготовка вугільної шихти перед коксуванням;
- часткове брикетування вугільної шихти перед коксуванням;
- трамбування вугільної шихти;
- безперервне коксування в вертикальних печах.

Таблиця 1.2 - Сировинна база коксування і механічна міцність коксу при використанні різних технологій підготовки шихти

	традиційна технологія	термопідготовка	часткове брикетування	трамбування
Марочний склад шихти				
Г	30	70	50	60
Ж	40	20	25	20
К	20	10	10	-
ОС	10	-	8	10
т	-	-	7	10
Механічна міцність коксу				
M25	87,0	88,0	88,2	89,3
M10	7,3	6,8	6,9	6,0

В результаті ряд технологій був впроваджений на заводах України в промислових масштабах. Так, часткове брикетування шихти здійснювалося на меткомбінаті "Криворіжсталь" (побудована в комплексі батарей №5-6 установка пропрацювала з 1987 р. по 2000 р.). Трамбування вугільної шихти впроваджено з 1993 р. на коксових батареях №9-біс і 10-біс заводу "Алчевськкокс", які виробляють близько 2 млн.т коксу на рік. Термічна підготовка вугільної шихти впроваджена в 2004р. на Ясинівському КХЗ.

Перераховані прогресивні технології підготовки шихти дозволяють досягти позитивних результатів щодо розширення сировинної бази коксування і поліпшення якості коксу [9].

Про перспективи

У найближчі роки темпи розвитку коксохімічного виробництва України і обсяги продукції будуть визначатися потребами власної металургії і світового ринку.

Коксохімічні заводи України здатні забезпечити ці показники. Для цього потрібно збереження та ефективне використання вже створеного виробничого і експортного потенціалу, комплексний підхід у вирішенні проблем виробничого циклу "вугілля-кокс-метал" в частині залучення інвестицій. Для створення нових потужностей і технічного переоснащення існуючих необхідне посилення вертикальної інтеграції, тобто збільшення інвестицій з боку металургів в коксохімію і вугледобувну промисловість.

Встановлено такі основні пріоритети науково-технічного розвитку коксохімічного виробництва України:

- реконструкція і технічне переозброєння коксових батарей, оновлення пічного фонду та одночасно впровадження ресурсо- і енергозберігаючих технологій підготовки та спікання вугілля;
- будівництво установок сухого гасіння коксу;
- скорочення витрат спікливих вугілля за рахунок трамбування, підігріву шихти та ін .;
- заміна фізично зношеного та морально застарілого обладнання в цехах уловлювання та переробки хімічних продуктів коксування з впровадженням нових технологій та ін. Програмою також визначено пріоритети наукових досліджень. Серед них створення нових технологічних процесів отримання металургійного палива з метою ефективного використання вугілля, що коксується; розробка технологій вдування продуктів газифікації вугілля і гарячих відновлювальних газів в доменну піч і ін.

У зв'язку з дефіцитом власного природного газу і необхідністю скорочення використання його в доменному процесі перед українськими металургами і коксохіміками сьогодні стоять такі завдання [10]:

- раціональне використання коксового і доменного газу при виробництві чавуну і коксу;

- скорочення витрат газоподібних відновлювачів в доменній плавці за рахунок збільшення частки та підвищення якості коксу шляхом оптимізації складу вугільної шихти, вдосконалення технології її підготовки та коксування;
- забезпечення виробництва коксу коксівним вугіллям;
- подальше поширення технології сухого гасіння коксу.

1.2 Шляхи вдосконалення технології підготовки вугілля для коксування

Удосконалення існуючої та створення нової технології підготовки вугілля для коксування включає комплекс заходів і технічних прийомів, основними з яких є впровадження нових методів збагачення вугілля, раціональне складання вугільних шихт, оптимальні ступінь і характер подрібнення вугілля, збільшення щільності вугільного завантаження, попередня сушка і нагрівання вугілля перед коксуванням і ін.

Нові методи збагачення, раціональне шихтування вугілля, оптимальна ступінь і характер подрібнення вугілля дають можливість дещо розширити сировинну базу коксування і поліпшити фізико-хімічні властивості коксу.

Підвищення щільності вугільного завантаження, спрямоване в основному на поліпшення якості коксу, який отримують з шихти зі значними добавками слабо спіклого вугілля досягається різними методами. До них можна віднести трамбування шихти, часткове брикетування і гранулювання шихти і додавання в шихту органічних рідин. Практичне здійснення цих методів призводить також до деякого підвищення продуктивності камерних печей.

Одним із способів ущільнення вугільної шихти перед коксуванням, що забезпечують економію добре спікливих вугілля при збереженні і навіть поліпшення якості коксу і підвищення техніко-економічних показників його виробництва, є трамбування або брикетування (повне або часткове).

При трамбуванні тонко подрібнену шихту ущільнюють в спеціальному пристрої поза коксової печі за допомогою падаючих молотків. Ущільнення шихти можливо також попередніми брикетуванням всієї або частини шихти в

двовалкової пресах без сполучного або зі сполучною з подальшою гравітаційної завантаженням брикетів (одних або в суміші з частиною подрібненої шихти) в камери коксування.

Основними передумовами збільшення кількості слабо спіклого вугілля, в шихті для коксування при її попередньому ущільненні є поліпшення спікливості шихти і якості одержуваного коксу при підвищенні щільності шихти. Як показали дослідження, спікливості шихти, що оцінюється ступенем її розширення в дилатометрі, при нагріванні шихти збільшується пропорційно квадрату щільності шихти. Зі збільшенням щільності шихти зростає міцність шматків і матеріалу коксу.

При ущільненні шихти трамбуванням можна підвищити її щільність до 1,05-1,15 т/м³. Внаслідок скорочення відстаней між вугільними зернами в ущільненому вугільному пирозі при коксуванні потрібна менша кількість рідкої фази і досягається велика міцність структури коксу. Це обумовлює можливість використання шихт зниженої спікливості [11].

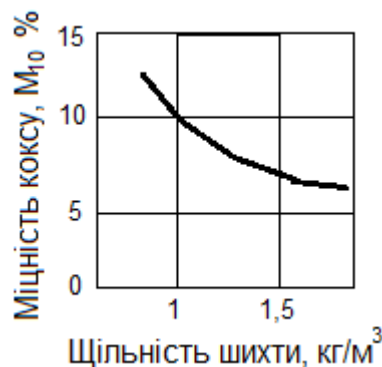


Рисунок 1.1 - Залежність міцності коксу при випробуванні його в малому барабані від щільності шихти

При ущільненні шихти брикетуванням насипна щільність шихти збільшується в кетів, становить в середньому 0,8 т/м³. Міцність коксу з частково брикетованої шихти вище, ніж міцність коксу зі звичайної шихти тієї ж щільності. Це пояснюється надзвичайно сильним розширенням брикетів при розм'якшенні в порівнянні з розширенням подрібненої частини шихти, що обумовлює значне поліпшення спікливості шихти в цілому. Тому процес коксування частково брикетованих шихт протікає так, як якщо б шихта в печі мала велику щільність

При розширенні брикетів з виділенням значної кількості парогазових продуктів в пластичному стані відбувається стиснення розташованих навколо брикетів зерен шихти, що сприяє спікання цих зерен. У зв'язку з цим процес коксування частково брикетованої шихти покращує її спікливість і якість коксу, а також дозволяє використовувати для коксування вугілля зниженої спікливості.

Трамбування шихти. Коксування трамбованої шихти застосовується в промисловому масштабі на ряді коксохімічних заводів в ФРН, Чехії, Польщі, Франції та інших країн, забезпечуючи отримання доменного коксу з шихти зі значним вмістом слабоспікливого вугілля.

Трамбування вугільної шихти дозволяє збільшити ступінь помелу шихти без зниження продуктивності коксових печей і погіршення умов праці та їх експлуатації.

Технологія коксування трамбованої шихти полягає в тому, що вугільна шихта подається з вугільних веж, які знаходяться з машинної сторони коксової батареї, в бункер ущільнюючої, завантажувальної і коксовиштовхувальної машини. У спеціальній формі, яка відповідає формі і розмірам камери коксування, протягом 3 хв. відбувається ущільнення вугільного завантаження, і утворюється вугільний пиріг. Готовий вугільний пиріг направляється па піддоні в камеру коксування, піддон потім висувається на місце, в форму, і двері камери закривається.

Відсмоктування газів, що утворюються в момент завантаження вугільного пирога в камеру коксування, здійснюється за допомогою пристрою для очищення газів завантаження, встановленого на вагоні. Вагон переміщається по верху батареї, і гази відсмоктуються через отвори в склепінні печі. Гази завантаження спалюють в котельній камері, розташованій на вагоні, а утворені продукти горіння охолоджуються, промиваються водою від пилу і видаляються в атмосферу при температурі близько 70 °С.

Коксування трамбованої шихти можна комбінувати з її термічною підготовкою. Вугільну шихту з високим вмістом слабоспікливих і неспікливих компонентів (до 80%) нагрівають до 170-180 °С, змішують з 6% нафтового бітуму і ущільнюють в трамбувальній машині, такий же, як і для трамбування вологої

шихти. Трамбований пиріг всувають в камеру коксування; тривалість процесу його коксування скорочується на 25-30%, а продуктивність коксової печі збільшується не менш ніж на 35%.

Істотною перевагою комбінованого процесу трамбування термopідготовленої шихти зі сполучним є значне поліпшення якості коксу в порівнянні з коксом, отриманим з трамбованої вологої шихти. Вихід металургійного коксу (клас > 25 мм) при коксуванні термopідготовленої трамбованої шихти на 5% вище, ніж при коксуванні вологої трамбованої шихти.

Для отримання коксу високої якості комбінуванням процесів термopідготовки і трамбування достатньо, якщо в шихті міститься 10-15% добре спікливого вугілля

Техніко-економічні показники комбінованого процесу краще, ніж показники процесу коксування трамбованої вологої шихти, за рахунок зменшення вартості шихти, збільшення продуктивності коксових печей і поліпшення якості коксу.

Процес попереднього брикетування всієї шихти без сполучного здійснюється в двовалкових пресах продуктивністю до 40 т/год. Отримані брикети транспортують ковшовими елеваторами в вуглезавантажувальний вагон коксової батареї. Щільність попередньо брикетованої шихти в камері коксування становить 750 замість 650 кг/м³ для небрикетованої шихти.

У ФРН розробляється комбінований процес, в якому поєднується сушка шихти при температурі 100 °С з подальшим її брикетуванням при додаванні 4-6% кам'яновугільної смоли. Період коксування сухий брикетованої шихти скорочується на 17-20%, а продуктивність коксових печей підвищується приблизно на 35% в порівнянні з коксуванням вологої брикетованої шихти.

Перевагами комбінованого процесу сушіння та брикетування шихти перед коксуванням в порівнянні з роздільними процесами термічної підготовки і брикетування є можливість використання одного ступеня термічної підготовки шихти, що забезпечує зниження витрат і підвищення безпеки процесу; усунення виносу вугільного пилу в газозбірник; компактність установки і менша чутливість до перебоїв в роботі установки.

Вперше в промисловому масштабі часткове брикетування шихти було здійснено в 1971 р в Японії, і в даний час цей метод широко застосовується на ряді коксохімічних заводів ФРН, Індії та інших країн [12].

Брикетована частина (30%) шихти змішується зі сполучним в шнековому змішувачі для рівномірного розподілу зв'язуючого у вугільній масі і надходить в змішувач-пластифікатор з паровим обігрівом з метою розплавлення сполучного і підвищення гомогенності маси. Загальна витрата зв'язуючого становить 6-8% від брикетувальної частини шихти. В якості сполучного застосовують низькотемпературний пек (температура розм'якшення 35 °С), який в розплавленому стані розбризкується в шихту, що знаходиться в закритій ємності.

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

Брикети і решта (70%) подрібненої шихти надходять в окремі секції вугільної вежі. У процесі вивантаження їх з вугільної башти в заданому співвідношенні на стрічкові живильники і при подальшому транспортуванні в вуглезавантажувальний вагон шихта і брикети перемішуються.

Принципово іншим різновидом процесу часткового брикетування шихти є процес, що полягає в тому, що в брикетувальну частину шихти вводять тільки слабоспикливі і неспикливі компоненти шихти. Для збільшення вмісту неспикливого вугілля в шихті в цьому процесі використовують високотемпературний нафтовий пек як сполучне або додаткові спікальні добавки до брикетувальної частини шихти.

Різниця в схемах цього процесу в тому, що в першій з них високотемпературний нафтовий пек використовують в якості спікальної добавки в шихту, в другій - в якості одного з компонентів сполучного при брикетуванні (іншим компонентом є кам'яновугільна смола). У першому варіанті в якості сполучного використовується низькотемпературний кам'яновугільний пек.

Тривалий досвід експлуатації установок по коксуванню частково брикетованих шихт показав, що при збільшенні частки слабоспикливого і

неспікливого вугілля в шихті на 15-20% можна отримувати доменний кокс високої якості.

Подальший розвиток цього процесу повинен йти по шляху вдосконалення пресів брикетування і зниження вартості сполучного.

Ефективність коксування частково брикетованої шихти визначається тим, що додаткові витрати на брикетування значно менше зниження вартості шихти при використанні великої кількості слабоспікливого і неспікливого вугілля. Додатковий ефект отримують в доменному виробництві за рахунок поліпшення якості коксу.

Коксування термічно підготовленої шихти. Попереднє нагрівання вугілля і шихт дозволяє збільшити його щільність на 15-30% і значно підвищити сипучість за рахунок зменшення вологості і зміни властивостей поверхні зерен. Кожен тип вугілля і шихти характеризується певною температурою, нагрівання до якої вугілля або шихту, досягають максимуму збільшення їх щільності і сипучості. Значення цих температур лежать для більшості вугілля і шихт в області 200-250 ° С. Після досягнення максимуму щільності подальше нагрівання вугілля призводить до інтенсивного виділення газів і зміни властивостей поверхні вугільних зерен, внаслідок чого насипна щільність маси починає зменшуватися, залишаючись все ж вище значень для вологого вугілля [13].

Вплив термічної підготовки вугілля на процес коксування є складним і проявляється в наступному:

- підвищується спікливість вугільного завантаження за рахунок збільшення щільності і швидкості її нагрівання на першій стадії процесу;
- поліпшується процес спікання через збільшення швидкості нагріву на другій стадії процесу;
- зменшується тріщинуватість коксу за рахунок зниження перепаду температур в завантаженні і зменшення градієнта швидкостей усадки суміжних шарів напівкоксу - коксу.

Позитивний вплив попередньої термічної підготовки на якість коксу тим більше, чим менше спікливість вугільного завантаження і чим вище вихід летких

речовин з неї.

На технологічні властивості вугільного завантаження впливають також умови її термічної підготовки, кінцева температура і швидкість нагріву, вміст кисню в теплоносії та ін. При швидкому попередньому нагріванні розширюється температурний інтервал переходу вугілля в пластичний стан, і температура максимального розм'якшення зсувається в область більш високих значень. Такий глибокий вплив термічної підготовки вугілля і їх сумішей на процес коксування пояснює, чому при цьому процесі досягається найбільше поліпшення якості коксу але порівняно із застосуванням інших методів підготовки.

Коксування термічно підготовлених шихт має ряд переваг.

Поліпшується якість коксу внаслідок збільшення щільності завантаження на 15-30%, зменшення перепаду температур у вугільному завантаженні, збільшення швидкості нагрівання до пластичного стану, зниження сірчистості і підвищення рівномірності і сталості показників фізико-хімічних властивостей коксу.

Розширюється сировинна база коксування за рахунок значного збільшення в шихтах частки газового і слабоспікливого вугілля.

Збільшується продуктивність коксових печей на 25-50% внаслідок підвищення щільності завантаження і зниження періоду коксування.

Поліпшуються умови експлуатації вогнетривкої кладки камер коксування (зменшуються термічні удари).

Зменшується кількість стічних вод і парогазових продуктів коксування завдяки видаленню з шихти всієї вологи.

Термічна підготовка і завантаження шихти в камери коксування здійснюються трьома способами. Одним з них є трубопровідне транспортування шихти (завантаження), попередньо нагрітої в підігрівачі з киплячим шаром. У двох інших способах попереднє нагрівання здійснюється в трубах-сушарках; нагріту шихту завантажують в камери коксування за допомогою ланцюгового конвеєра або спеціального вуглезавантажувального вагона.

В основу способу трубопровідного завантаження покладено нагрівання вугільної шихти в апараті з псевдозрідженим шаром, який одночасно виконує роль дробарки, і трубопровідне транспортування шихти в коксові печі.

Вологе вугілля поділяють на два класи. Вугілля класу > 25 мм дроблять, приєднують до вугілля класу < 25 мм і направляють в зону швидкісної сушки, куди подається гарячий газ-теплоносій

Частково підсушене вугілля виноситься висхідним потоком теплоносія в розширену зону підігрівача, де створюється псевдозріджений шар; в нижній частині підігрівача розташована ротаційна молоткова дробарка. Верхня межа крупності подрібненого вугілля становить 6 мм, при цьому вихід вугілля класу < 3 мм досягає 90%. Підігріте до 260 °С вугілля відділяється від теплоносія в звичайних циклонах.

Гаряче вугілля з циклонів надходить в приймальний бункер, з якого періодично подається в дозувальний бункер, а з нього - в завантажувальний трубопровід коксових печей. По трубопроводу вугілля транспортується до печей під дією пари, що подається в трубопровід через форсунки, розташовані по його довжині. На головному трубопроводі для кожної печі розташовані індивідуальні клапани для її підключення і відключення під час завантаження нагрітої шихти в печі через завантажувальний люк.

Перевагами цього способу завантаження є герметичність трубопровідної системи, гарна якість коксу із шихт з підвищеним вмістом слабоспівного вугілля. Недоліками способу є низька щільність пневмозавантаженої шихти (тільки на 2-4% більша за густину вологої шихти); значне винесення її в газозбірник при завантаженні; uszkodження вогнетривкої футеровки підігрівачів; забивання пилевідвідних труб вторинних циклонів і ін.

За способу конвеєрного завантаження здійснюється двоступеневе нагрівання вугільної шихти в висхідному потоці газу-теплоносія і гравітаційного завантаження його в коксові печі за допомогою закритого конвеєра. Завантажувальний трубопровід розташований на спеціальному завантажувальному візку, що пересувається уздовж батареї. При завантаженні нагрітої шихти через два завантажувальних люка зі швидкістю 6 т/хв відпадає необхідність в плануванні шихти. Температура нагрітої шихти при завантаженні в коксові печі $170-200$ °С [14].

Перевагою цього методу коксування термічно підготовленої шихти є

нескладне апаратурне оформлення процесів підігріву і завантаження шихти в коксові печі. До недоліків можна віднести подрібнення шихти при нагріванні і деяке зниження її щільності в порівнянні з щільністю цієї ж шихти, нагрітої іншими способами. Смола, що отримується на цих установках, відрізняється великою запиленістю (зольність 0,2-0,3%) і вищим порівняно зі звичайною смолою вмістом речовин, нерозчинних в хіноліні процесом сухого гасіння коксу. Частина циркулюючого газу з цієї установки використовується для підігріву шихти.

При способі завантаження за допомогою вагону сушка і нагрівання шихти здійснюються в трубах - сушарках, а завантаження нагрітої шихти в камери коксування - за допомогою спеціального вуглезавантажувального вагона.

В вуглезавантажувальні вагони нагріта шихта надходить через ущільнюючі з'єднання між випускними клапанами бункерів для зберігання і бункерами вагона. Бункери вагонів з'єднані з промивальним скруберами, в яких вловлюється віднесений вугільний пил.

Відпрацьовані гази утворюються при завантаженні газів, що надходять в скрубер, де промиваються водою, яка подається під високим тиском через зрошувальні форсунки. Очищений газ випускають в атмосферу, а шлам повертають в шламосбірник.

При вагонному способі завантаження нагрітої шихти щільність її в камері коксування вище, ніж при інших методах завантаження. Однак при цьому збільшується маса вуглезавантажувального вагона і ускладнюється його конструкція [15].

Безперервні процеси отримання різних видів коксу

В останні роки особливу увагу приділяють розробці безперервних методів отримання доменного коксу, що пояснюється не тільки найбільшими масштабами його споживання, але і складністю технології його отримання.

З розгляду теорії процесу коксування можна сформулювати наступні основні принципи управління процесом отримання доменного коксу:

- безперервність процесу; поділ всього процесу на стадії, проведення яких має здійснюватися окремо і незалежно один від одного;

- можливість створення зовнішнього тиску на завантаження вугілля в стадії переходу його в пластичний стан і отримання в подальшому шматків коксу необхідних розмірів і форми;
- можливість зміни в широких межах основних параметрів процесу, що визначають оптимальні умови проведення, кожної стадії, з метою отримання з вугілля даного типу твердих, рідких і газоподібних продуктів бажаної якості;
- роздільне відведення парогазових продуктів на кожній стадії процесу з метою максимального використання хімічного потенціалу вугілля;
- автоматичне регулювання кожної стадії процесу, що забезпечує високу продуктивність і поліпшення умов праці;
- можливість найбільш повного використання тепла продуктів коксування;
- апаратне оформлення процесу повинно забезпечувати виконання зазначених вище принципів і високі техніко-економічні показники всього процесу в цілому.

Запропоновані в даний час безперервні процеси коксування вугілля можна розділити на дві принципово різні групи: безперервне коксування вугілля без брикетування і отримання формованого (брикетованого) коксу. Отримання формованого коксу можна розділити на дві підгрупи: холодне брикетування із застосуванням сполучного і гаряче брикетування без застосування сполучного. У кожній підгрупі є методи, що розрізняються між собою рядом особливостей [16].

Всі розроблені безперервні методи отримання різних видів коксу знаходяться поки на стадії дослідно-промислової перевірки через многостадійність процесу і складне апаратне оформлення.

Найбільше число розроблених за кордоном процесів засноване на холодному брикетуванні шихти. В якості сировини в цих процесах використовуються в основному неспікливе або слабоспікливе вугілля. Однак якщо спікливість вугілля недостатня (наприклад, антрациту або худого вугілля), то до шихти додають спікливе вугілля, частка якого залежить від властивостей основного компонента. При використанні в якості основного компонента шихти

вугілля з високим вмістом летких речовин (більш 30%) його піддають попередній термічній обробці. В якості сполучного при холодному брикетуванні застосовують або смолу зі стадії термічної обробки, або кам'яновугільний пек, причому частка сполучного в шихті становить 3-13%.

У процесах на основі гарячого брикетування використовують двокомпонентні шихти. Як спікливі компоненти шихти в цих процесах можна застосовувати слабоспікливе вугілля з високим вмістом летких речовин, що володіють достатньою плинністю. Встановлено можливість застосування слабоспікливого вугілля при одночасній добавці пеку або смоли.

У більшості процесів виробництва формованого коксу, коксування брикетів здійснюється в потоці газоподібного або твердого теплоносія. Ці способи прямого нагріву в порівнянні з нагріванням через стінку мають наступні переваги: гнучкість, простота, висока продуктивність і безперервність процесу. Основний недолік цього способу полягає в утворенні низькосортних побічних продуктів у вигляді запилених смол і низькокалорійних газів і зниженні виходу коксу за рахунок чаду.

Як приклад гарячого брикетування в печах із зовнішнім обігрівом використовуються печі з похилим подом.

В стадії спікання і прожарювання формовок нагрівання їх слід вести з певною швидкістю, яка залежить від типу вугілля, що переробляється, і умов проведення перших трьох стадій. Загальна тривалість процесу становить 3-5 год, з яких на здійснення перших трьох стадій витрачається всього лише кілька хвилин.

На створеній дослідно-промисловій установці з різного вугілля і сумішей отримано міцний формований кокс, який був успішно випробуваний в промисловій доменній печі.

Вугілля в молотковій дробарці, подрібнене до розміру <3 мм (90-95%), через автодозатор і шнековий живильник поступає в цикл нагріву. Останній здійснюється в трьох- або чотиріступінчастому каскаді циклонів за допомогою газу-теплоносія, отриманого в окремій топці. Газ-теплоносій спочатку подають в третій по ходу вугілля циклон і далі він послідовно проходить від першого до третього циклонів. Відпрацьований газ-теплоносій з першого ступеня каскаду

направляється в доочисний циклон для відділення пилу і нагнітачем подається в цикл для зниження температури газу-теплоносія, одержуваного в топці. Надмірна газ-теплоносій після доочистки від пилу викидають в атмосферу. Температура газу-теплоносія, що надходить в третю сходинку нагріву, становить 580-600 °С

Вугілля з циклону третього ступеня виходить при температурі 435-460 °С (ця температура для кожного виду вугілля підтримується цілком певною, коливання допускаються не більше ніж на ± 5 °С) і через шлюзові камери надходить в прес-формуваельну машину, де відбувається формування пластичної маси в виробі (формування) певних форми і розмірів [17].

Випробувані прес-формуваельні машини різних типів: валковий-гусенична, двохшнекові, кільцева та ін. Формовки при 350-400 °С пластинчастим конвеєром подаються в вертикальні безперервнодіючі печі з зовнішнім обігрівом, де нагріваються до температури 850-900 °С. У нижній частині печі формування охолоджуються і через шибєрні розвантажувальні пристрої видаються на конвеєр.

Формований кокс, отриманий на цій установці, має досить хороші фізико-механічні властивості. Так, отриманий кокс мав наступні показники якості: M_{40} -89,9%, M_{10} - 6%, вміст шматків розміром 40-60 мм - 86%-й, був випробуваний в доменній печі.

Висока рівномірність гранулометричного складу покращує газопроникність насипних мас формованого коксу, а також покращує показники роботи доменних печей. Цей метод отримання формованого коксу найбільш повно відповідає, принципам безперервного коксування. Однак практичне здійснення цього методу отримання формованого коксу пов'язано з рядом труднощів в конструктивному вирішенні вузлів формування і прожарювання формовок. Питомі капітальні вкладення на будівництво таких установок поки ще вище питомих капітальних вкладень на будівництво коксових батарей.

Сутність безперервного методу коксування вугілля в кільцевих печах, розробленого в МХТІ ім. Д.І.Менделєєва, полягає в нагріванні до заданої температури щодо тонкого шару (50-200 мм) вугільного завантаження на рухомому поді кільцевої печі. Процес коксування за цим методом може бути розділений на три автоматично керованих стадії: стадія попереднього нагрівання

вугілля; стадія спікання вугільного завантаження і утворення напівкоксу і стадія переходу напівкоксу в кокс [18].

При здійсненні другої стадії є можливість накладення зовнішнього тиску з отриманням шматків коксу певного розміру і форми.

Підведення тепла до завантаження здійснюється від нагрітого перекриття печі або безпосередньо від продуктів горіння. Режим проведення кожної стадії коксування регулюється автоматично в широких межах і незалежно один від одного і забезпечує оптимальні умови проведення кожної стадії для даного типу вугілля і продуктів коксування бажаної якості.

Парогазові продукти коксування відводять окремо на кожній стадії процесу.

Обране апаратурне оформлення процесу коксування, простіше в порівнянні з існуючим методом коксування в камерних печах або запропонованих безперервних методів коксування, дозволяє в широких межах змінювати технологічні параметри процесу, наприклад швидкість термічної переробки матеріалу, кінцеву температуру його нагрівання, висоту шару завантаження, ступінь ущільнення і подрібнення завантаження та ін., а також дає можливість переробляти різне тверде та рідке сировину (тверді горючі копалини, пеки, нафтові залишки, суміші твердих і рідких продуктів, деревину та ін.) з метою отримання кінцевих продуктів заданої якості. Простота апаратурного оформлення обумовлена застосуванням кільцевої печі в якості основного агрегату.

Залежно від типу переробляється вугілля, бажаної якості і виду одержуваного коксу можливі різні варіанти процесу коксування, які дещо відрізняються апаратурним оформленням.

Отримання металургійного коксу можна здійснювати: а) за повною схемою, описаною вище, при переробці слабоспівливого вугілля;

б) за простішою схемою переробки вугільних шихт зниженої або середньої співликовості. В цьому випадку волога або попередньо нагріта вугільна шихта з завантажувального бункера надходить на обертову подину і нагрівається в заданому режимі, що забезпечує оптимальні умови отримання з даної шихти металургійного коксу хорошої якості;

в) отримання коксобрикетів для доменного і ливарного виробництв з

різних вугілля і їх сумішей шляхом прожарювання вугільних брикетів. Оскільки в кільцевій печі коксується порівняно тонкий шар завантаження на подині він, знаходиться в нерухомому стані, то брикети не піддаються механічним впливам і не руйнуються, а також не спікаються між собою і не утворюють конгломератів.

Для отримання недоменного коксу і хімічних продуктів коксування можна використовувати газові слабоспікливе і довгополум'яне вугілля, а також буре вугілля і торф. Залежно від призначення твердих і рідких продуктів, одержуваних при термічній переробці палив, може бути виданий напівкокс або твердий залишок із заданим вмістом летких речовин. Вихід і якість летючих продуктів термічної переробки палив також може змінюватися в широких межах - від низькотемпературних продуктів напівкоксування до високотемпературних продуктів коксування, так як в залежності від температури підсклепінного простору і її розподілу по довжині кільця і місця відбору парогазових продуктів ступінь піролізу може змінюватися.

Перевагою безперервної термічної переробки вуглецевих матеріалів в кільцевій печі за методом МХТІ ім. Д.І.Менделєєва є можливість переробки різного вугілля (в тому числі слабоспікливого і неспікливого відкритого видобутку), отримання кінцевих продуктів заданої якості, значного збільшення продуктивності праці і поліпшення його умов [19].

До недоліків процесу слід віднести складність утилізації тепла відхідних продуктів горіння і важкі умови роботи футеровки подини.

1.3 Нові технології коксування вугілля

Природно, що експлуатація старих коксових батарей викликає зниження їх виробничої потужності, Підвищення експлуатаційних витрат, зниження якості коксу, погіршення умов праці обслуговуючий персоналу и збільшення шкідливих викидів в навколишнє середовище. У разі зносу и незадовільного стану коксохімічного устаткування питомі експлуатаційні витрати на 1 тону продукції зростають в 1,5-2 рази, витрати енергоресурсів зростають більш ніж в 1,7 рази, продуктивність праці зніжується в 1,8-2 рази.

Останнім часом у світовій коксохімії реалізуються результати багаторічних розробок за технологією виробництва коксу на батареях з печами великого обсягу.

Перевага камер великого обсягу є більш низькі капітальні витрати і експлуатаційні витрати, зниження навантаження на навколишнє середовище та збільшення терміну служби печей.

Зниження капітальних витрат при переході на печі висотою 7,6 м досягається за рахунок зменшення числа батарей, скорочення виробничих площ і комплектів коксових машин. Для їх обслуговування потрібна менша чисельність персоналу, що сприяє оптимізації експлуатаційних витрат. Навіть більше 2 млн. т/рік коксу можна виробляти на двох коксових батареях з одним комплектом машин і однієї робочою бригадою, що переконливо демонструє коксохімічний завод Швельгерн. У довгостроковій перспективі можна розраховувати на збільшеній строк служби великовантажних батарей, що позитивно позначиться на собівартості коксу [20].

При використанні коксових печей великого об'єму поліпшується екологічна ситуація, що пов'язано з меншим числом видачі коксу і завантаження шихти на добу, а також з меншою протяжністю ущільнюючих стиків (люка, стояків, дверей та ін.). Все це значно зменшує ймовірність прямих викидів.

Великий крок в оптимізації екологічного навантаження від коксових батарей зроблений з розробки і впровадження системи PROven, яка дозволила знизити почти до нульового рівня шкідливі викиди коксових батарей, включаючи димові викиди при завантаженні.

Для скорочення витрат добреспікливого вугілля і підвищення якості коксу все частіше застосовуються прогресивні технології, що дозволяють розширити сировинну базу коксування.

Найбільш вивченими технологіями коксування великої кількості слабоспікливого вугілля в шихті є:

- термічна підготовка вугільної шихти;
- трамбування вугільної шихти перед коксуванням;
- часткове брикетування шихти;

- вибіркове подрібнення шихти з пневматичною сепарацією;
- виробництво формованого коксу;
- безперервна коксування.

Вплив найпоширеніших способів підготовки вугільних шихт на поліпшення якості коксу (за других рівних умов) в порядку зростання: 1) звичайні способи підготовки (ДШ, ДК, ДДК, ГДК); 2) вибіркове подрібнення з пневмосепарацією; 3) термічна підготовка вугільної шихти; 4) трамбування вугільної шихти.

1.3.1 Виробництво коксу за технологією SCOPE 21

Дана технологія виробництва коксу є однією з найпрогресивніших серед розроблених за останній час [21]. Концепція технології за проектом SCOPE 21 передбачає вирішення наступного завдання:

- ефективного використання вугільних ресурсів зі збільшенням частки неспікливого і слабоспікливого вугілля в шихті для коксування до 50%;
- підвищення продуктивності коксових печей з метою зниження капітальних витрат;
- ослаблення навантаження на навколишнє середовище і зменшення енергоспоживання.

Схема технологічного процесу виробництва коксу SCOPE 21 представлена на рис. 1.2. Вугільна шихта піддається подрібненню до крупності менше 3 мм і надходить в сушарку-класифікатор, в якій відбувається сушка і поділ шихти на два класи, дрібний та великий. Потім вугілля піддається швидкісному нагріву до 350 °С в трубчастих підігрівачах в потоці повітря. Дрібні класи вугілля з температурою ~ 160 °С після сушарки-класифікатора надходять в двохвалкові преси та піддаються гарячому брикетуванню, після чого об'єднуються з великими класами і завантажуються в коксових піч.

Коротка технічна характеристика коксової батареї з процесом SCOPE 21:

Число печей - 64;

Розміри печі (висота, довжина, ширина), м - 6,7 x 16,6 x 0,45;

Температура вугільного завантаження - 250 °С.

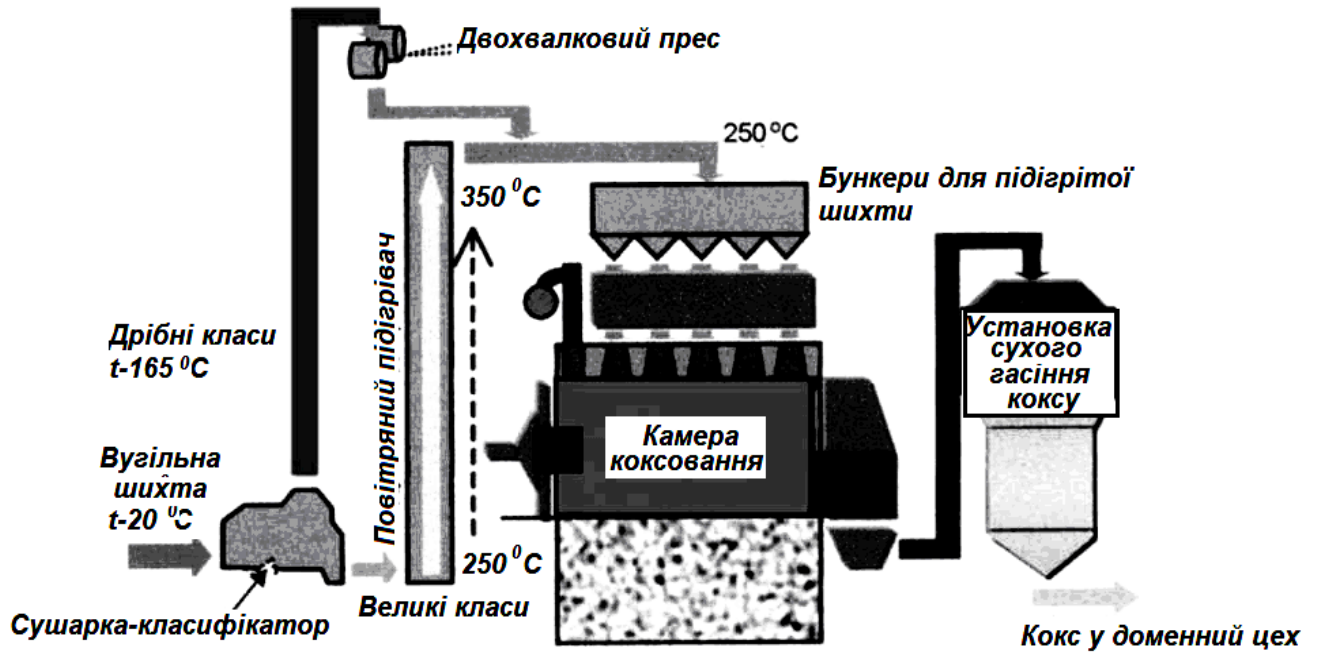


Рисунок 1.2 - Схема процесу отримання коксу за технологією SCOPE 21

Технологічний процес має наступні головні відмінні риси:

- застосування швидкісного нагріву шихти дозволяє скоротити тривалість коксування, знизити витрати енергії на коксування і підвищити міцність коксу;

- на печах застосована система обігріву з малим викидом оксидів азоту (NO_x): використана схема з одноступінчастим підведенням газу і тріступінчастим підведенням повітря в поєднанні з рециркуляцією продуктів згорання.

Нова технологія забезпечує можливість отримання з шихти з 50% участі слабоспікливого вугілля коксу, міцність якого за показником DI15150 вище 84%, що визначає придатність одержуваного коксу для використання в доменній печі.

1.3.2 Коксування трамбованої вугільної шихти

Останнім часом найбільша кількість нових батарей вводиться в експлуатацію із застосуванням технології коксування трамбованої шихти. Дана технологія виробництва коксу є досить поширеною. Наприклад, в Китаї на сьогодні працюють більше 360 батарей із завантаження трамбованої шихти загальною потужністю понад 80 млн.т/рік коксу, що забезпечує економію 24 млн.

т/рік коксівного вугілля [22].

Відповідно до технології вугільну шихту ущільнюють в трамбувальній камері з розмірами, дещо меншими, ніж розміри камери коксування, и завантажують на піддоні в коксову піч з машинної сторони. Трамбований вугільний пиріг має щільність $1-1,15 \text{ т/м}^3$, що значно більше за густину шихти, що завантажується в печі насипом при традиційній технології ($0,75 \text{ т/м}^3$). Зазор між частинками вугілля в трамбованому завантаженні менше, а об'ємна щільність вища, що покращує взаємодію вугільних зерен при нагріванні и в підсумку спіклівість завантаження росте. У зв'язку з цим, в шихті можна збільшити частку слабоспікливого вугілля на 15-20% и отримати кокс більш високої якості.

Основні машини, що забезпечують роботу даної технології - трамбувально - завантажувально-виштовхуюча машина (ТЗВМ) и машина з відсмоктування и спалювання газів завантаження (ОСЗГ).

ТЗВМ виконує наступні функції:

- зняття дверей з коксової печі, їх очищення и установку;
- очистку бічних поверхонь, рам и дзеркал рам;
- виштовхування готового коксового пирога;
- виготовлення трамбувального вугільного пирога;
- введення трамбувального вугільного пирога;
- видалення просипу вугілля, що накопичилося при трамбуванні вугільного пирога;
- прибирання та зачистку робочого майданчика від невеликих кількостей просипу и уламків вугілля и коксу зі скидання їх на транспорт;
- забезпечення можливості аварійного завершення: закінчення робочих операцій за допомогою допоміжних механізмів резервного або ручного приводу;
- підтримання позитивної температури для вугільної шихти в бункері машини і камері трамбування;
- очистку пода камери коксування при виштовхуванні коксу.

Швидкість пересування ТЗВМ - 70 м/хв , об'єм наповнення машинного бункера - 204 м^3 , що відповідає приблизно 163 т вугілля (достатньо для наповнення 4,5 печей); встановлена потужність трансформаторів - 3050 кВт ;

потужність, споживаний машиною з опаленням узимку (40°C) - 21671 кВт/год, без опалення - 13550 кВт / год. Позитивна температура на машині в зимовий період підтримується кліматичними установками.

Відштовхуюча штанга и посадковий піддон обладнані спеціальними дизельні установки для завершення операцій в аварійних випадки.

Машина ОСЗГ виконує операції по відсмоктуванню газів завантаження, їх допалу в камері згоряння, розведення зовнішнім повітрям и передачі через колектор бездимного завантаження на вентустановки. Машина обладнана механізмами очищення газовідвідної арматури від смоли та графіту. Обсяги відсмоктування: завантажувальний газ - за камерою згоряння - 21000 м³/рік, за кондиціонуванням - 51000 м³/рік [23].

1.3.3 Технологія регулювання вологості вугільної шихти

Вологість вугілля - одна з властивостей, яке в порівнянні з іншими характеристиками шихти, легко піддається регулюванню. Вологість вугілля впливає на дробильність, насипну щільність, вантажно-транспортні операції. Природно, що коливання вологості шихти викликають необхідність регулювання режиму коксування. Крім того, чим більше вологи з шихтою вноситься, тим більше буде утворюватися води на підприємстві, яку необхідно очищати від шкідливих домішок. Для зниження вологості шихти застосовують попередню сушку, в результаті якої також поліпшується якість шихти і, як наслідок, коксу.

Технологія попереднього підсушування шихти (СМС, компанія «SAIL») передбачає часткове видалення вологи з вугільної шихти до рівня 5-6% з використанням тепла коксових печей або інших джерел тепла перед її завантаженням в коксову піч. Для підсушування шихти вугілля використовуються димові гази коксових печей, що скорочує викиди в навколишнє середовище CO₂ на ~ 35,8 кг на 1 т вугілля. При зниженні вологості шихти з 11 до 6% витрата тепла на коксування скорочується на 310 МДж/т сухого вугілля. Із застосуванням технології регулювання вологості зниження вмісту вологи шихти на 1% дозволяє зменшити витрату тепла на коксування на 62,0 МДж/т шихти сухої ваги.

Впровадження технології регулювання вологості шихти дозволяє

підвищити щільність вугільного завантаження, зменшити тривалість коксування і підвищити продуктивність коксової печей на 7-11%. Постійна вологість вугільної шихти сприяє стабілізації роботи коксових печей і продовження терміну їх служби [24].

1.3.4 Процеси регулювання вологості і підсушування вугільної шихти з кускуванням її пилоподібних класів

З метою підвищення частки неспікливого і слабоспівного вугілля в шихті для коксування на фірмі «Nippon Steel» в 1992 р розробили і ввели в дію на заводі в Оіті нову технологію підготовки вугілля, яка отримала найменування DAPS (коксування попередньо підсушеної і окускованої шихти). Схема процесу в системі DAPS показана на рис. 1.3.

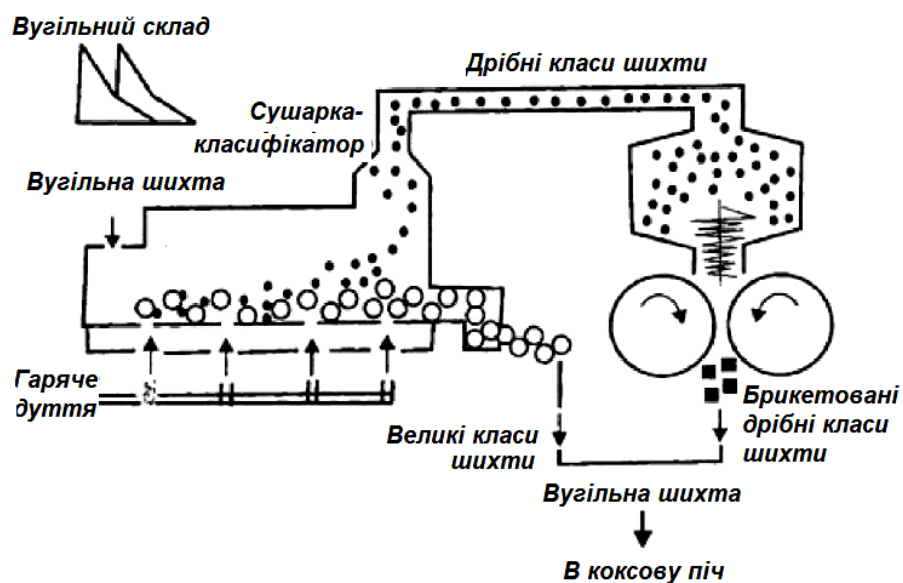


Рисунок 1.3 - Технологічна схема системи DAPS

За технологією вугілля піддається сушінню в сушарці з киплячим шаром, а на виході з сушарки класи вугілля менше 0,3 мм відокремлюються в циклоні, після чого піддаються брикетуванню. Вугільна шихта має вологість 2-4%. Масова частка окускованого дрібного вугілля становить близько 30% від всієї маси вугільного завантаження. Окусковане вугілля додають в масу вугілля більших класів і спільно завантажують в коксові печі [25].

1.3.5 Контроль вогнетривкої кладки регенераторів коксової батареї

Старіння коксових батарей проявляється не тільки в зносі стін камер коксування, а й в стані регенераторів. Для збільшення терміну служби коксових батарей важливо своєчасно виявляти пошкодження елементів кладки і оперативно організувати ремонт. Стан стін, насадки і інших елементів кладки регенераторів оцінюють візуально через оглядове вічко і за непрямими методами (за опору, температурному режиму та ін.). Точність оцінки ступеня пошкодження при такій діагностиці залишається вельми низькою, а виконання - трудомістким.

Для контролю стану регенераторів розроблено пристрій, схема якого представлена на рис. 1.4.

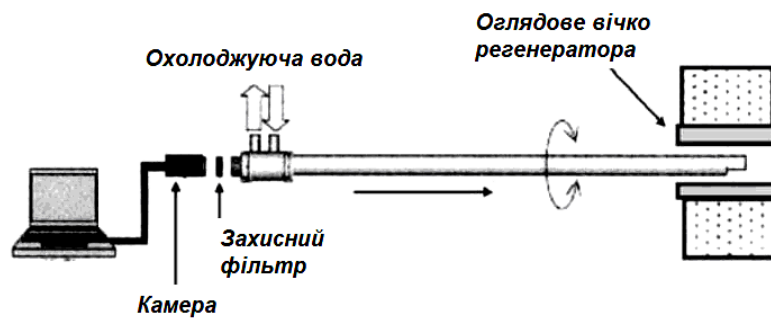


Рисунок 1.4 - Схема пристрою для контролю стану регенераторів

Пристрій являє собою порожню водоохолоджувальну штангу з об'єктивом на кінці, до якої приєднано захисний фільтр і відеокамера. Штангу вводять через оглядове вічко у верхній частині дзеркала регенератора і вивчають його внутрішній простір.

Характеристика пристрою контролю кладки регенераторів коксових батарей наступна:

Максимальна глибина спостереження - 1500 мм;

Максимальна довжина зонда - 1700 мм;

Маса зонда - 5 кг;

Діаметр зонда - 25 мм;

Максимальна температура - 1200 °С;

Максимальна тривалість спостереження - 20 хв.

Діаметр штанги дозволяє вводити її в регенератор через вічко регенератора

і здійснювати спостереження без виконання спеціальних отворів в кладці регенераторів. Конструкція штанги забезпечує обертання об'єктива навколо осі, що підвищує ефективність і технологічність контролю. Ефективне водяне охолодження забезпечує відведення значної кількості тепла від зонда при знаходженні його в регенераторі і створює умови для тривалого спостереження з короткими, на кілька хвилин перервами [26].

1.3.6 Технологія коксування без уловлювання хімічних продуктів

Існують три випробуваних методи виробництва металургійного коксу: технологія з уловлювання побічних продуктів коксування, технологія з використанням тепла відхідних газів для виробництва електроенергії (технологія рекуперативного типу) і технологія виробництва коксу в вуликових печах без уловлювання хімічних продуктів. По суті, технологія рекуперативного типу є модифікацією технології вуликових печей, яка майже вже не використовується.

При рекуперативній технології виробництва коксу все летючі продукти спалюються в пічній камері для забезпечення процесу коксування теплом.

Печі коксування за даною технологією горизонтальні і знаходяться під невеликим розрідженням. В основному газ для горіння подається через порти в дверях і частково спалює утворюються летючі речовини в камері коксування. Додаткове повітря подається в вигнуті канали, які пролягають в днище печі. Конструкція каналів, а також контроль потоку повітря дозволяють балансувати швидкість коксування зверху і знизу. На рис. 1.5 показаний розріз батареї за даною технологією [27].

Гарячі гази проходять по тунелю для газів, що відходять до бойлерної установки, на якій отримують пар високого тиску для виробництва електроенергії або опалення. Всі токсичні гідрокарбонати і побічні продукти спалюються всередині пічної камери. Охолоджений відпрацьований газ очищується від сірки вапняним молоком з отриманням гіпсу, який, в основному, використовується у виробництві будівельної плитки.

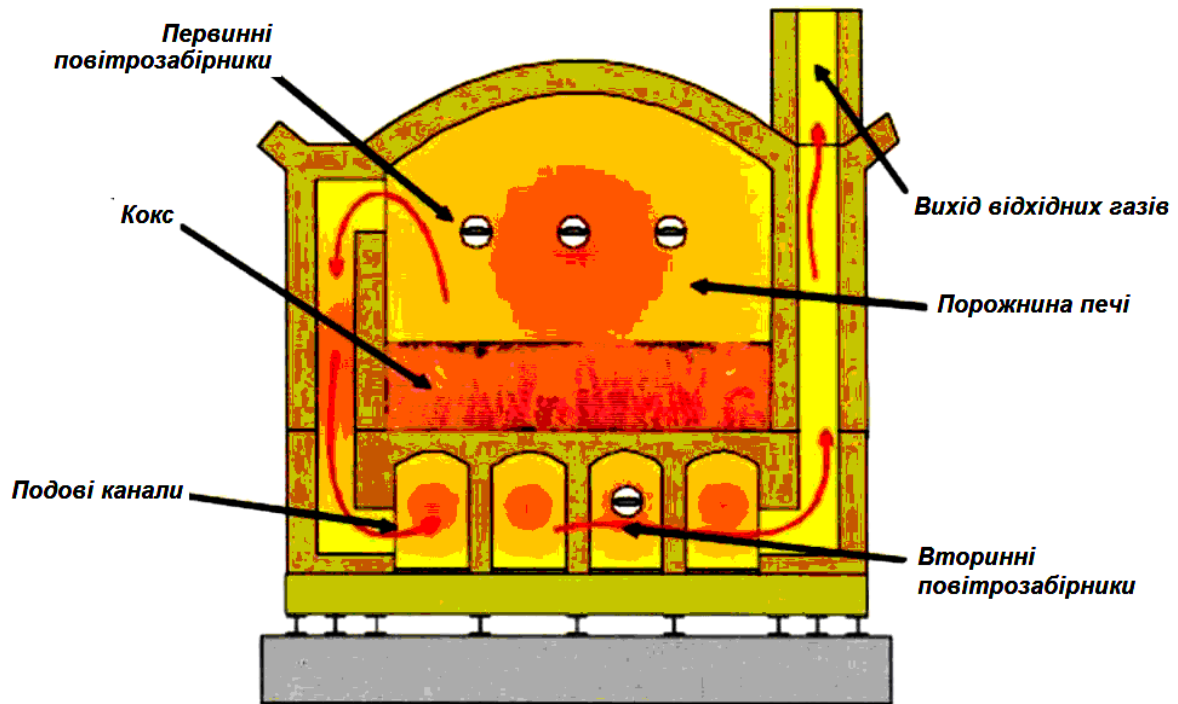


Рисунок 1.5 – Розріз печі рекуперативного типу

Печі будують з шамоту або динасу. Кількість марок цегли для печі - 15, витрата вогнетривких і ізоляційних матеріалів на одну піч - приблизно 320 т. Печі армовані і встановлені на бетонному фундаменті. Продуктивність - 26-28 т доменного коксу за 48 годин. Збільшення продуктивності можна досягти, застосовуючи трамбування шихти. Період коксування становить 24 години. Слід зазначити, що за даною технологією для розміщення підприємства потрібна велика територія.

Вугільна шихта за технологією без уловлювання хімічних продуктів коксування повинна володіти характеристиками, які наведені в табл. 1.3.

З точки зору впливу на навколишнє середовище технологія виробництва коксу рекуперативного типу володіє меншим впливом, ніж коксохімічний варіант. З огляду на негативний тиск і спалювання летучих продуктів, технологія виробництва коксу рекуперативного типу значно знижує викиди токсичних газів. Конфігурація шару вугілля також забезпечує значно менші викиди пилу. Агентство з захисту навколишнього середовища США розглядає рекуперативний процес виробництва коксу як технологію, яка дозволяє досягти максимального контролю технології [28].

Таблиця 1.3 - Властивості вугільної шихти за технологією без уловлювання хімічних продуктів коксування (підприємство «Indiana Harbor»)

показник	максимум	мінімум
Вихід летких речовин на суху масу, %	30	22,5
Пов'язаний вуглець на суху масу, %	71	63
Зольність, %	6,8	6,4
Вміст сірки, %	0,83	0,64
Вологість, %	7,1	6,0
Коефіцієнт відбиття вітриніту (R_0), %	1,34	1,09

Розглянемо технології коксування без уловлювання хімічних продуктів на двох підприємствах - одному в США і одному в Китаї.

1.3.6.1 Технологія виробництва коксу компанії «Indiana Harbor Coke Company LTD»

На рис. 1.6 представлена принципова схема виробництва, продуктивністю 1,2 млн. т коксу на рік і 94 МВт електроенергії на підприємстві «Indiana Harbor Coke Company LTD».

За даною схемою шихта з вуглепідготовки завантажується в печі, які об'єднані в 4 батареї (по 67 печей в кожній). Батареї скомпоновані в два блоки і розміщуються паралельно. Батарея обладнана конвеєром для подачі шихти, продуктивністю 1400 т/год, машиною завантаження-видачі, дверізнамальною машиною, коксонапрямним пристроєм, гасильним вагоном з локомотивом. Кожен блок батарей має вежу мокрого гасіння і рампу. Вузол сортування коксу на підприємстві один.

Вгорі кожної батареї розміщуються котли з трубами для аварійного скидання продуктів горіння в атмосферу. Печі працюють під розрядженням, і тому викиди в процесі коксування відсутні.

Утворений газ із температурою близько 1000°C направляються в котел-утилізатор, і після віддачі тепла, очищається від сірководню. Котли входять до складу електростанції, поруч з якою розташовується вузол очищення продуктів горіння.

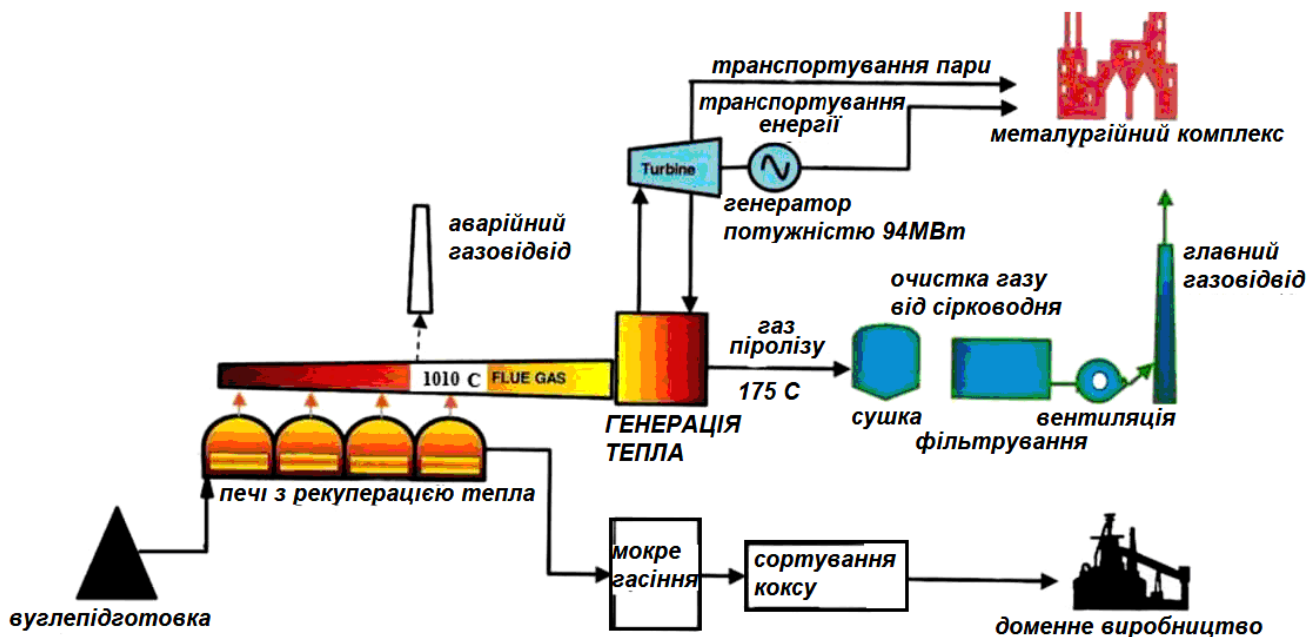


Рисунок 1.6 - Принципова схема виробництва коксу компанії «Indiana Harbor Coke Company LTD»

1.3.6.2 Технологія виробництва коксу компанії «Shanxi Sinochem Wonder Industries Company LTD»

Китай, як відомо, є найбільшим виробником коксу в світі. Для отримання коксу в Китаї досить широко використовується технологія коксування без уловлювання хімічних продуктів. За технологією компанії «Shanxi Sinochem Wonder Industries Company LTD» для коксування вугілля трамбують, для чого шари вугілля розподіляють в форми для трамбування. Глибина шару вугілля в формі для трамбування не повинна перевищувати 1100 мм. Вугілля в прес-формі трамбується до розмірів приблизно 1265x3300x1050 мм. Його щільність при цьому становить 1,1 г/см³.

Вугільний пиріг подається в спеціальну форму (трубу), яка транспортується до машинної сторони печі. Після видачі коксу, двері з коксової сторони закриваються, і форма разом з вугільним пирогом подається в піч. Як тільки форма займе необхідне положення, коксовиштовхувач притискає торцеву сторону пирога і форма відходить назад, а пиріг залишається на поду печі. Після цього коксовиштовхувач закриває двері з машинної сторони.

Продуктивність підприємства складає 1,33 млн. т коксу на рік, а

електроенергії 60 МВт.

Необхідно відзначити, що як традиційне коксохімічне виробництво, так і технологія з батареями рекуперативного типу здатні виробляти кокс високої якості, достатньої для застосування в доменних печах високої продуктивності. Безліч різних факторів можуть вплинути на рішення про вибір технології, наприклад, розмір ділянки та доступність енергетичних ресурсів, конфігурація металургійних підприємств, споживачів енергії, проблеми захисту навколишнього середовища, вартість обладнання і, природно, термін окупності [29].

1.3.7 Новий продукт - заміник доменного коксу

Американська корпорація «United States Steel» освоєє нову запатентовану технологію компанії Carbonux, Inc (Плано, штат Техас) отримання нового продукту з вугілля, замість використовуваного в металургії коксу, одержуваного традиційним способом. Цей продукт отримав назву Соконук (™) (коконікс).

Процес Carbonux спрямований на значне скорочення емісій і споживання енергії в порівнянні з традиційною технологією виробництва коксу або процесами виробництва коксу без уловлювання хімічних продуктів. Отримувані в цьому процесі газу будуть використовуватися на когенераційній установці.

Основною сировиною в даній технології є вугілля, змішане з іншими вуглецевими матеріалами. Після декількох реакцій отримують напівкристалічну вуглецеву структуру, придатну для використання у виробництві чавуну, сталі, мінералів.

Намічено будівництво чотирьох модулів по 250 тис.т/рік коконікса.

За технологією передбачається вугілля перед подачею у виробництво підсушувати і дробити. Кожен модуль повинен бути оснащений власною сушильною установкою і дробаркою з продуктивністю 50 т/год (операційна продуктивність складе 35 т/год). З штабелів вугілля за допомогою розвантажувача буде подаватися в один з бункерів-живильників, з якого стрічковим конвеєром - в сушарку. Вугілля сушиться повітрям, нагрівається газами, що відходять від поживних підсилюють реакторів (ПУР), описаних нижче. Продукти, що відходять від сушарок, очищаються в пилоочисному скрубєрі, а підсушене вугілля подається

шнеком на дробарку. Підсушене подрібнене вугілля скребковим конвеєром подається в один з силосів проміжного складу.

З підсушеного і дробленого вугілля готується суміш (в певній пропорції), яка подається на перший агрегат - ПУР, який забезпечує перший ступінь в процесі синтезу сплаву, оскільки з сировини видаляються певні органічні елементи. Гази, які утворюються в ПУР, мають значну кількість залишкового тепла, і повертаються в цикл для допалювання, що забезпечує необхідною тепловою енергією як ПУР, так і сушарки вугілля. Продукти горіння відсмоктуються через теплообмінник «повітря-повітря» (що забезпечує теплом сушарку вугілля), а потім проходять через скруббер і тканинний фільтр для очищення від SO_2 і зважених часток відповідно перед їх скиданням в атмосферу.

Резервним джерелом для забезпечення процесу тепловою енергією є природний газ. Він же використовується при запуску системи.

Кожна з двох ліній СЛ8Р матиме два реактора ПУР, тобто чотири на один модуль, з максимальною проектною продуктивністю 6 т/год і нормальною операційною - 5 т/год. Продукт, який отримують на кожному реакторі, званий «Carbores» (карборек), охолоджується, агрегується, дробиться і передається на силос складу.

З силосу продукт Carbores передається на змішання з підсушеним вугіллям та іншими добавками, що забезпечують вимоги до продукту. Отримана суміш подається в форми (сутунки), які вантажаться на трансферкари і подаються в реактор для остаточної обробки - реактор плавлення (синтезу) частинок (РПЧ), який являє собою тунельну піч з різними зонами, в яких відбуваються кілька реакцій, що перетворюють продукт Carbores в напівкристалічний вуглецевий сплав Сокопух.

Об'єкт матиме два паралельно працюючих реактора РПЧ на один модуль (на одну виробничу лінію СЛ8Р). Кожен реактор розрахований на виробництво 20 т/год коконікса з 30 т/год карборека і надходить вугілля. Нормальними експлуатаційними показниками реактора є виробництво 16 т/год коконікса з 23 т/год карборека.

Після реактора синтезу РПЧ коконікс охолоджується водою за допомогою

зрошення і розділяється на класи по крупності згідно з технічними умовами. Готовий продукт від обох виробничих ліній СЛ8Р буде зберігатися в штабелях на відкритому складі, звідки буде відвантажуватися на баржі або залізничні вагони.

Гази, що відходять від ПУР, повертаються в цикл для спалювання з метою забезпечення теплом, необхідним для процесу утворення сплаву в реакторі плавлення (синтезу) РПЧ. Спочатку вони проходять вузол спалювання з низьким NO_x запобігає емісії CO і летючих органічних компонентів. На всіх стадіях процесу передбачається використання в якості резервного палива природного газу. Гази, що скидаються з систем утилізації тепла в атмосферу, очищаються в скрубери і тканинному фільтрі.

Когенераційна система буде включена до складу підприємства. При її реалізації скидні гази після вузла горіння будуть подаватися в систему генерації пари, в якій залишкове тепло утилізується в теплообміннику і одержуваний пар буде подаватися на парову турбіну для виробництва електроенергії.

Отримана електроенергія буде використовуватися на підприємстві, а її надлишок буде передаватися в мережу або третій стороні. Когенераційна система буде мати два парових генератора, один з них для реактора синтезу і одну когенераційну турбіну на модуль. Потужність когенераційної установки складе приблизно 20-25 МВт на модуль.

Технологія Сокопук передбачає використання в якості сировини суміші різного вугілля (наприклад, енергетичного і антрациту) і отримання за допомогою синтезу нової вуглецевої сплавленої структури, що має такі ж властивості, як і кокс, отриманий з металургійного вугілля. З суміші вугілля з використанням сполучного отримують «зелені» брикети, що нагадують деревне вугілля, які потім піддаються нагріванню з метою видалення з них летких хімічних речовин і отримання твердого матеріалу, здатного утримати стовп шихти в доменній печі.

Механізм передачі тепла в даній технології відрізняється від існуючого процесу виробництва коксу. У РПЧ горіння відбувається в зоні, відокремленої від сировини, і продукти горіння нагрівають перегородку, що відокремлює дві зони. Опрацьований матеріал не контактує безпосередньо з перегородкою, а нагрівається теплом, випромінюваних перегородкою. Розробники технології

вважають, що таке рішення забезпечує більшу ефективність теплопередачі для запропонованого перепаду температур і менша витрата тепла в порівнянні з традиційною технологією коксування.

На відміну від традиційної системи коксування процес Карбонікс є безперервним. Побічні газоподібні продукти коксування використовуються в процесі як джерело тепла. Так як для охолодження продукту потрібна невелика кількість води, для даної технології характерно невелика кількість скидної води (або навіть її відсутність).

Перший модуль виробництва коконікса на металургійному заводі в Гері введений в експлуатацію в жовтні 2012 р [30].

Висновки до глави 1

Широко поширена технологія коксування (в періодично діючих камерних печах) не відповідає повністю поставленим завданням. Основним недоліком коксування в камерних печах слід вважати протікання процесу з різною швидкістю через великий градієнт температур коксованої шихти по ширині пічної камери, а також внаслідок більшої різниці між щільністю завантаження по висоті камери, що призводить до отримання коксу, різнорідного по крупності, міцності, пористості і реакційній здатності.

Отримання коксу з задовільними фізико-механічними властивостями стає можливим при введенні до складу шихти значної кількості добре коксівного вугілля.

Великим недоліком коксування в камерних печах є також періодичність процесу, що створює труднощі при автоматизації всього виробничого процесу і не дозволяє значно підвищити продуктивність праці і поліпшити його умови. При існуючій технології коксування не може бути задовільно вирішена і завдання повного використання хімічного потенціалу вугілля. Тому ведуться численні роботи, спрямовані на вдосконалення існуючої технології та створення нових безперервних процесів коксування.

ГЛАВА 2 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ І ВИКОРИСТОВУВАНІ МАТЕРІАЛИ

Для дослідження та аналізу сучасних процесів коксування вугілля в роботі використовували стандартні методики, що традиційно вживають для вивчення коксохімічних процесів [31].

2.1 Визначення вмісту вологи у вугіллі (W^a)

Суть методу: висушування навішування аналітичної проби вугілля до постійної маси в повітряній сушильній шафі при 105-110 °С.

Прилади й лабораторний посуд:

Сушильна шафа (стійка температура нагріву 105-110 °С), бюкси, термометри ртутні скляні до 200 °С, ексікатор.

Хід визначення.

Аналітичну пробу вугілля перемішують у відкритій банці шпателем на повну глибину і відбирають з 2-3 місць по висоті шару навішування 1 г в попередньо висушені і зважені бюкси. Товщина шару вугілля в стаканчику не повинна перевищувати 5 мм.

Бюкси з навішеннями вугілля вставляють в розігріту до 105-110 °С сушильну шафу і при цій температурі сушать 0,5 год. Потім їх виймають із шафи, охолоджують в ексікаторі і зважують. Після цього роблять контрольні просушування тривалістю півгодини кожне доти, поки маса не зменшиться або збільшиться менш ніж на 0,001 г. Під час сушіння в шафі і охолодження в ексікаторі бюкси з навішеннями повинні бути зі знятими кришками, а при зважуванні - закриті.

Вміст вологи в аналітичній пробі (W^a):

$$W^a = \frac{a \cdot 100}{m}, \%$$

де а - маса вологи, що випарувалася, г;

m - маса наважки вугілля, м

2.2 Визначення золи в аналітичній пробі вугілля (A^c)

Суть методу: Зола - негорючі мінеральні речовини, які залишаються при згорянні палива. У більшості випадків основу мінеральних домішок становлять силікати металів.

Метод полягає в прожаренні навішування випробуваного вугілля при температурі 850 °С.

Прилади й лабораторний посуд:

Муфельна піч з температурою нагріву 800-825 °С, порцелянові човники 25×43 мм; вони повинні бути пронумеровані і прожарені до постійної ваги, аналітичні ваги, ексикатор гранульованим хлористим кальцієм.

Хід визначення.

Човники з навішеннями вугілля 1 г ставлять в холодний або розігрітий до температури не більше 300 °С муфель, розташовуючи їх в зоні повного напруження муфеля. Протягом 1-1,5 год нагрівають муфель до 800-850 °С. При цій температурі навішування прокалюють протягом 1-2 год. Після цього човники виймають з муфеля, охолоджують спочатку на повітрі протягом 5 хв, а потім в ексикаторі до кімнатної температури і зважують. Потім виконують контрольні півгодинні прожарювання, повторюючи їх до тих пір, поки маса стане спадати менше, ніж на 0,001 р

Зольність аналітичної проби вугілля (A^a) обчислюють за формулою:

$$W^a = \frac{a \cdot 100}{m}, \%$$

де a - маса зольного залишку, г;

m - маса наважки вугілля, г

Зольність абсолютно сухого вугілля (A^c) обчислюють за формулою:

$$A^c = A^a \frac{100}{100 - W^a}$$

де W^a - вміст вологи в випробуваній пробі, %.

2.3 Визначення виходу летких речовин (V^T)

Суть методу: Під вмістом летких речовин розуміють масу органічної частини вугілля, що виділилася в вигляді летючих продуктів термічного розкладання вугілля без доступу повітря. Вихід летких речовин - класифікаційний показник, що враховує ступінь метаморфізму вугілля.

Метод заснований на нагріванні навішування вугілля в закритому тиглі при температурі 850 °С протягом 7 хвилин і визначення втрати маси навішування палива.

Прилади й лабораторний посуд:

Електричний муфель зі стійкою температурою 850 ± 25 °С, підставка з жаротривкого металевого листа, дроту або порцелянових трубок, тиглі порцелянові висотою 40-44 мм з верхнім діаметром 32-36 мм з притертою кришкою.

Хід визначення.

Закритий муфель розігрівають до досягнення стійкої температури 850 ± 25 °С. На підставку встановлюють закриті кришками тиглі з навішеннями вугілля 1 м. Дверцята муфеля відкривають і підставку з тиглями по можливості швидше вставляють в муфель в зону стійкої температури. Потім дверцята муфеля закривають і витримують тиглі 7 хв.

Вийняту з муфеля підставку з тиглями охолоджують на повітрі не більше 5 хв, після чого тиглі остаточно охолоджують в ексикаторі і зважують.

Після визначення тиглі звільняють від коксового залишку, оглядають зовнішній вигляд коксових корольків, характеристику спікливості вугілля.

Вихід летких речовин в аналітичній пробі обчислюють за формулою:

$$V^a = \frac{a \cdot 100}{m} - W^a, \%$$

де a - маса летючих речовин, г;

m - маса наважки вугілля, г;

W^a - вміст вологи, %.

Вихід летких речовин на умовну горючу масу (V^r) обчислюють за формулою:

$$V^c = \frac{100}{100 - V^a - A^a}, \%$$

де A^a - зольність аналітичної проби вугілля, %.

2.4 Визначення сірки в вугіллі

Суть методу:

Сірка у вугіллі знаходиться в вигляді сполук із залізом, у вигляді сірчаноокислого кальцію і органічних сполук.

Сірка є небажаною домішкою в вугіллі, так як високосірчистий кокс не придатний для металургійних заводів.

Метод заснований на спалюванні навішення вугілля з сумішшю окису магнію і вуглекислого натрію (суміш Ешка) для перетворення всіх сірчистих сполук в сульфати. Утворені сульфати розчиняють і осаджують сульфат-іон у вигляді сульфату барію.

Прилади й лабораторний посуд:

Муфельна піч із стійкою температурою нагріву 850 ± 25 °С; порцелянові тиглі низькою форми висотою 38,5 - 46,5 мм, діаметром 28,5-36 мм без кришок; ексікатор з гранульованим безводним хлористим кальцієм; водяні або піщані лазні; склянки з носиками місткістю 250-300 і 500-600 мм; воронки скляні.

Реактиви та матеріали:

Суміш Ешка, що складається з 59-66% окису магнію і 34-41% безводного вуглекислого натрію; соляна кислота концентрована; хлористий барій, 10% водний розчин; індикатор метиловий червоний, 0,02% водний розчин; беззольні щільні фільтри; дистильована вода.

Хід визначення:

Наважку вугілля 1 г поміщають в фарфоровий тигель і ретельно перемішують в ньому металевою паличкою з 2 г суміші Ешка. Суміш беруть з точністю до 0,1 г.

Тигель з вмістом переносять в муфель розігрітий до 815 ± 10 ° С. При цьому в верхньому шарі вмісту тигля не повинно з'являтися чорного нальоту. Вміст тигля прокалюють при температурі 850 ± 25 ° С не менше 2 годин.

Після охолодження вміст тигля розпушують металеву паличкою і, ретельно обмиваючи внутрішні стінки тигля водою, переносять його вміст в стакан місткістю 300 мл, обливають 100-150 мл гарячої дистильованої водою і доводять до кипіння. Якщо при цьому у вмісті тигля виявляються незгорілі частки чорного кольору, зазвичай спливають на поверхню розчину, то визначення повинне бути забраковано.

Водний розчин декантують, зливаючи його на фільтр і збираючи фільтрат в стакан місткістю 600 мл. Залишок в склянці три рази промивають гарячою водою, потім переносять його на фільтр і ретельно промивають струменем води з промивалки, взмучивая залишок на фільтрі. В отриманий фільтрат (в кількості 300-350 мл) додають 2-3 краплі розчину індикатора метилового червоного і доливають хімічно чистої соляної кислоти до слабокислої реакції. Розчин нагрівають до кипіння і до нього при помішуванні склянкою паличкою поступово доливають 10 мл розчину хлористого барію, наливаючи його в центр склянки; при цьому випадає осад сірчаноокислого барію. Розчин з осадом витримують протягом 30 хв на киплячій водяній бані при температурі, близької до кипіння.

Відстояну в склянці рідина фільтрують через щільний беззольний фільтр. Осад переносять зі склянки на той же фільтр і промивають на ньому водою до повного видалення іонів хлору.

Для визначення повноти видалення іонів хлору беруть в пробірку 3-5 мл з останньої порції фільтра і додають до нього 3-4 краплі розчину азотнокислого срібла. Якщо при цьому не випадає осад хлориду срібла або утворюються тільки легкі опалесценції, то промивка вважається закінченою, в іншому випадку промивку осаду продовжують.

Вкладений фільтр з осадом переносять у зважений тигель, попередньо прожарений до постійної маси. Фільтр злегка ущільнюють і потім обвуглюють, не допускаючи його займання.

Прожарювання тигля з осадом виробляють в муфельній печі при температурі 815 ± 10 °C протягом 20 хвилин, після чого тигель виймають з муфеля, охолоджують на повітрі протягом 5 хвилин, потім - в ексікаторі до кімнатної температури і зважують.

Розбіжність між результатами двох паралельних контрольних аналізів не повинно перевищувати 0,002 г BaSO₄.

Вміст загальної сірки в аналітичній пробі палива

$$S_{заг}^a = \frac{a \cdot 0,1373 \cdot 100}{m}, \%$$

де m - маса навішення вугілля, г;

a - маса осаду сульфату барію, г;

0,1373 - коефіцієнт для перерахунку маси сульфату барію на масу сірки.

Висновки до глави 2

Для дослідження та вдосконалення процесів коксування вугілля в роботі були використані методики, які дають змогу розробити комплекс технічних способів, що покращать сучасні коксохімічні процеси.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОКСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

3.1 Підготовка сировинних матеріалів до металургійного переділу

Найбільш прийнятними варіантами печей, що дозволяють виробляти кокс підвищеної якості, що задовольняє основним вимогам для застосування ПВП в доменному виробництві, є:

- коксові батареї з установкою сухого гасіння коксу (УСГК);
- коксові батареї з трамбуванням вугільної шихти.

Застосування процесу сухого гасіння коксу в технології виробництва коксу в останні десятиліття у багатьох країнах стало переважаючим. Це пов'язано з тим, що даний процес має ряд переваг у порівнянні з мокрим гасінням коксу:

1. поліпшення якості металургійного коксу по волозі, міцності, реакційної здатності, гранулометричним складом, що дозволяє знизити його витрата в доменному процесі на 3-5%;
2. підвищення продуктивності на 4%;
3. збільшення показника M_{25} до 89%;
4. зменшення показника M_{10} до 8,0%;
5. утилізація тепла розпеченого коксу (до 50% від витраченої на коксування), з подальшим використанням отриманого пара для вироблення електроенергії;
6. скорочення шкідливих викидів в атмосферу;
7. зниження витрати коксу в доменних печах;
8. можливість використання в шихті для коксування збільшеного вмісту слабоспікливого вугілля з отриманням якісного металургійного коксу;
9. збільшення продуктивності доменних печей.

Співвідношення коксу, погашеного сухим методом і мокрим, представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Гасіння коксу на УСГК, %

Період	Запоріжжкокс		Алчевськкокс	
	Сухе гасіння	Мокре гасіння	Сухе гасіння	Мокре гасіння
2018	67,31	32,69	16,2	83,8
2019	66,66	33,33	16,1	83,9

Дослідження показали, що поліпшення якості погашеного сухим способом коксу відбувається, в основному, через його ізотермічну витримку в камері-накопичувачі УСГК, яка є обов'язковим елементом установки. У камері-накопичувачі триває процес молекулярно-структурних перетворень коксу. При цьому дійсна щільність коксу збільшується, а питомий електроопір і реакційна здатність знижуються, що відповідає вимогам до якості доменного коксу. У табл. 3.2 представлені показники якості коксу печей з використанням сухого гасіння коксу і мокрого гасіння. На печі подається шихта однакової якості і складу.

Таблиця 3.2 - Показники якості коксу коксових печей

параметри	Мокре гасіння	Сухе гасіння
M ₂₅ , %	87,6	89,2
M ₁₀ , %	8,6	8,0
зола	12,7	12,6
сірка	0,45	0,41
вуглець	83,00	82,90
волога	3,8	0,3
CRI	33,3	31,6
CSR	49,5	52,2
Вміст в металургійному коксі класу +80 мм	23,3	19,2

З наведених даних видно, що якість коксу сухого гасіння за всіма показниками вище, а також він має більшу рівномірність гранулометричного складу за рахунок зниження вмісту великих класів (понад 80 мм).

Якщо розглядати ефективність УСТК в межах коксохімічного заводу, то вона невелика, оскільки втрати від чаду коксу майже в 2 рази перевищують прибуток від реалізації пари та електроенергії від УСТК, однак якщо розглядати ефективність УСТК в комплексі з металургійним заводом, то прибуток від УСТК очевидна за рахунок економії коксу в доменному виробництві.

Другий спосіб підвищення якості коксу полягає в застосуванні завантаження трамбуванням шихти. Дана технологія більш перспективна і вигідна, оскільки дозволяє не тільки підвищити якість коксу при застосуванні стандартної шихти, але і значно знизити собівартість продукції за рахунок введення в шихту дешевого слабоспікливого вугілля низької якості (до 40%) без погіршення якості виробленого коксу.

Переваги технології завантаження трамбуванням:

1. зниження показника M_{10} (<7%);
2. збільшення показника M_{25} (> 90%);
3. збільшення виходу доменного коксу на 4%;
4. збільшення продуктивності до 10-15% при однаковому обсязі печі за рахунок високої щільності завантаження;
5. однакова насипна потужність вугільного завантаження по всій висоті коксової печі;
6. виключення нижнього завантаження коксової печі;
7. можливість збільшення витрати ПВП (пиловугільного палива) на тону чавуну;
8. збільшення показника CSR (> 65%) і зниження параметра CRI (<30%);
9. відсутність контакту між дверима коксової печі і вугільним пирогом і, як наслідок, менше проблем з негерметичність і блокуванням дверей;
10. може бути застосована майже на кожній коксовій печі з верхнім завантаженням, без порушення поточної роботи коксової печі.

При використанні завантаження з трамбуванням вугілля трамбується поза коксовою піччю в окремі «брикети» (вугільні брикети), що мають майже ті ж розміри, що і камера печі. Вугільні брикети мають щільність до $1,15 \text{ т/м}^3$ (на основі сирого вугілля з 10% вмістом вологи), завдяки цьому в піч вантажиться на 30% шихти більше, ніж при завантаженні подрібненого вугілля, в системах з верхнім завантаженням.

Для даної технології завантаження коксовиштовхувач суміщений з пристроєм для трамбування вугільної шихти - трамбувального-завантажувально-виштовхуюча машина (ТЗВМ). Для подачі шихти в камеру трамбувального пристрою передбачається наявність вугільної вежі, розміщеної над шляхами ТЗВМ [32].

Процес трамбування вугільної шихти складається в тому, що шихта з вугільних веж, які перебувають над ТЗВМ, подається в її трамбувальну камеру. У цьому пристрої відбувається пошарове ущільнення шихти падаючими молотками. Процес ущільнення триває 3-4 хв. (рис. 3.1), потім «вугільний брикет» на піддоні,

який є складовою частиною ущільнювальної камери, здвигається в камеру коксування, піддон висмикується з камери коксування назад в трамбувальну камеру, двері коксової камери закриваються, і процес коксування починається. Основними технологічними параметрами процесу трамбування шихти, що забезпечують потрібні характеристики вугільного пирога, є: питома робота трамбування, масова частка в шихті вугілля різних марок, гранулометричний склад і вологість шихти.

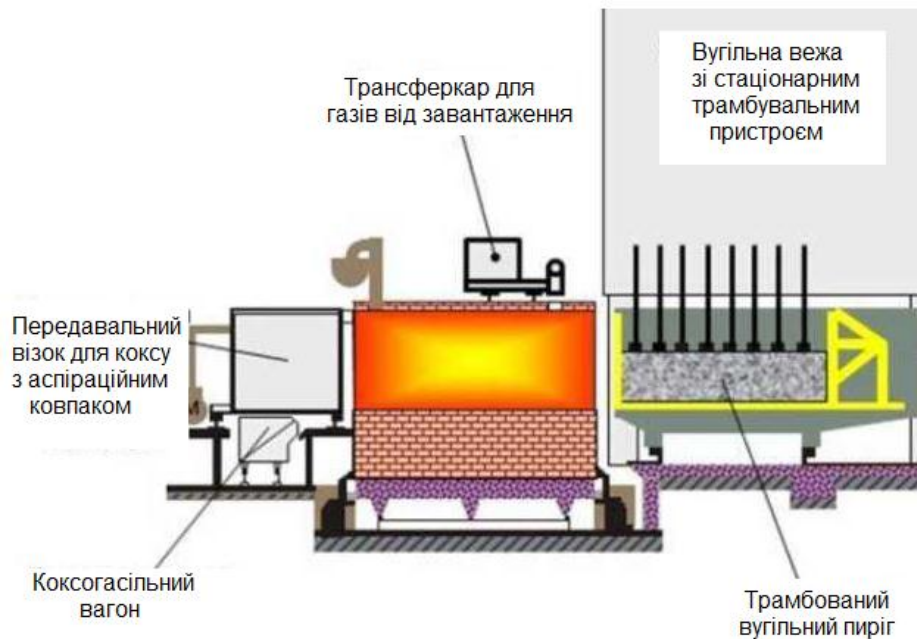


Рисунок 3.1 - Схема трамбування і завантаження трамбування в піч [9]

Збільшення вологості трамбованої вугільної шихти від 8 до 10% сприятливо впливає на щільність одержуваного пирога; при перевищенні 10% міцності вугільного пирога знижуються. У зв'язку з цим на заводах, які застосовують трамбування, вологість шихти повинна бути в межах 8-10%.

Високим ступенем подрібнення шихти вважається 90-92% вмісту класу менше 3 мм, Для досягнення гарної величини трамбування шихти вміст у ній жорсткого газового вугілля не повинен перевищувати 60%.

На заводі TATA Steel [33] проведено аналіз якості коксу за показниками M10 і CSR на печах з вертикальним завантаженням і завантаженням трамбування. Результати представлені на рис. 3.2 і 3.3, з яких видно, що використання завантаження з трамбуванням призводить до значного підвищення якості коксу.



Рисунок 3.2 - Показник CSR на печах з вертикальним завантаженням і завантаженням з трембуванням [9]



Рисунок 3.3 - Показник M10 на печах з вертикальним завантаженням і завантаженням з трембуванням [33]

На заводі ПАТ «Алчевськкокс» [34] була застосована технологія трембування вугільної шихти на коксових батареях №9-біс і 10-біс з проектною потужністю 1 млн. т на рік. На печі № 10-біс також застосовується сухе гасіння коксу. Дані з якості коксу наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Якість коксу коксових батарей 9-біс та 10-біс

Показник якості	Батарея 9-біс	Батарея 10-біс
M25	89,7	91,7
M10	4,6	4,1
волога	3,9	0,3
зола	11,3	11,3
сірка	1,0	1,0

Порівняльна характеристика прогнозованої якості коксу для печей, що працюють за різними технологіями, представлена в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Прогнозовані показники якості коксу, %

Показник якості	Коксова батарея з нижнім підводом і мокрим гасінням	Коксова батарея з нижнім підведенням і сухим гасінням	Печі з трамбованою вугільною шихти	Коксова батарея з трамбованою вугільною шихтою і сухим насінням
M ₂₅	87	89,0	92,0	93,5
M ₁₀	8,6	8,0	7,0	6,5
W	4,0	0,3	4,0	0,3
CSR	49,5	52,2	> 62	> 62
CRI	33,3	36,1	<30	<30

Таким чином, з табл. 3.4 видно, що спільне застосування трамбування шихти і сухого гасіння дозволяють отримати кокс з більш високими міцностними характеристиками, що відповідають вимогам ведення доменного процесу із застосуванням ПВП.

3.2 Розробка моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти

Ефективність роботи доменних печей визначається якістю металургійного коксу, в тому числі його міцністю в холодному стані - індексами M₂₅ і M₁₀. Однак вітчизняна та світова практика призводить до висновку, що індекси подрібнюваністю M₂₅ і стиранням M₁₀ не в повній мірі характеризують властивості коксу і його поведінку в процесі доменної плавки, тобто в умовах високих температур і в середовищі окислювачів. Ефективність функцій коксу в доменному процесі в значній мірі залежить від реакційної здатності коксу. Реакційна здатність коксу впливає на хід доменної плавки, особливо на профіль розподілу температур і газових потоків в печі, а як наслідок, на ступінь використання газу і питома витрата відновника. Крім того, вона впливає на міцність коксової насадки в горновій зоні печі, так як газифікація коксу супроводжується послабленням його структури.

Виходячи з цього, справжні дослідження проведені з метою перевірки

можливості використання існуючих і розробки нових моделей прогнозу показників CSR і CRI з прогнозуючим параметром - основністю шихти - для умов коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Вихідні дані про варіантному складі дослідних вугільних шихт, як вугільних концентратів і хімічному складу золи наведені, відповідно, в табл. 3.5-3.7.

Таблиця 3.5 - Варіанти дослідних вугільних шихт

варіант шихти	Марка вугілля і відсоток участі в шихті									
	Київська Ж	Північна К	Східна К + КЖ	Свято Варварі нська К	Печерська 2Ж	HV Integrity	Shoal Creek Espérance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegria)
	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
1	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
2	5	8	30	23	8	8	6	12	0	0
3	5	8	28	20	8	8	6	12	5	0
4	5	5	25	16	5	6	15	12	11	0
5	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
6	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
7	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
8	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
9	5	7	32	10	0	0	24	7	6	9
10	5	7	23	11	0	0	30	5	7	12
11	6	7	21	14	11	0	15	10	8	8
12	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
13	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
14	10	9	15	12	20	0	8	16	10	0
15	10	9	15	12	18	0	8	16	10	2
16	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
17	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
18	0	10	15	8	18	0	18	20	11	0
19	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0

Таблиця 3.6 - Якість вугільних концентратів

Марка вугілля	$W_t, \%$	$A^d, \%$	$S, \%$	$V, \%$	$R, \%$	$y, \text{мм}$
Печерська 2Ж	8,0	8,8	0,56	32,5	0,97	21
Північна К	10,9	9,6	0,54	22,8	1,23	17
Київська Ж	11,3	8,6	1,88	31,2	1,12	27
Східна К + КЖ	10,5	11,2	0,83	26,8	1,15	17
Свято-Варварінська К	8,0	8,2	0,72	28,3	1,21	15
HV Integrity	6,7	7,1	0,89	34,9	0,94	23
Shoal Creek Espérance	8,4	10,0	0,80	30,6	1,09	24
Toms Run	9,2	9,3	1,3	28,6	1,14	27
Jas Mos (Poland)	8,7	6,3	0,38	20,4	1,46	15
Mechel Creek (Alegria)	7,7	8,0	0,93	28,5	1,15	22

Таблиця 3.7 - Хімічний склад золи вугільних концентратів

оксид	Вміст оксидів в золі вугілля, %									
	Київськ а Ж	Північн а К	Східна К + КЖ	Свято Варварін ська К	Печерс ька Ж	HV Integrity	Shoal Creek Espérance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegría)
SiO ₂	42,4	57,7	54,0	51,1	58,6	50,4	52,9	50,1	42,5	50,4
Al ₂ O ₃	21,1	15,92	33,5	37,2	28,2	32,6	35,0	31,3	33,2	30,1
Fe ₂ O ₃	24,3	9,06	5,51	5,6	7,09	7,96	5,80	10,27	10,22	11,03
MgO	0,85	1,94	1,13	1,18	1,47	1,47	0,89	0,69	1,71	1,26
CaO	1,1	3,6	1,4	0,01	1,5	2,2	0,78	2,1	3,7	1,27
Na ₂ O	1,64	0,91	0,91	1,25	0,98	0,62	0,63	0,37	1,23	0,71
K ₂ O	2,37	2,33	1,79	3,44	1,51	2,77	2,60	2,41	1,8	3,03
MnO	0,099	0,028	0,023	0,063	0,022	0,103	0,016	0,02	0,17	0,045
SO ₃	0,57	1,4	0,44	0,2	0,45	0,6	0,21	0,66	1,1	0,43
P ₂ O ₅	0,16	0,13	0,38	0,15	0,326	0,22	0,61	0,40	0,25	0,15
TiO ₂	1,12	-	1,56	1,28	1,57	1,56	1,57	1,42	1,35	1,38
ZnO	0,011	0,043	0,045	0,054	0,016	0,025	0,017	0,04	0,019	0,022

Показники якості вугільної шихти, а також індекси основності для кожної марки вугілля і як покомпонентний адитивний показник для варіантів вугільних шихт, представлені в табл . 3.8.

Таблиця 3.8 - Якість вугільної шихти

варіант шихти	W ^r t,%	A ^d ,%	S ^d t,%	V ^{daf} ,%	R ⁰ ,%	y, мм	I ₀	I ₀
1	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
2	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
3	9,2	9,4	0,87	28,6	1,13	19,5	2,120	0,161
4	9,2	9,3	0,85	28,2	1,15	19,4	2,150	0,166
5	9,1	9,2	0,84	27,9	1,16	19,8	2,167	0,168
6	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
7	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
8	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
9	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
10	9,4	9,7	0,86	27,7	1,16	20,0	2,200	0,164
11	9,1	9,4	0,85	27,9	1,16	20,3	2,164	0,166
12	9,1	9,2	0,84	28,0	1,16	20,1	2,211	0,173
13	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
14	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
15	9,3	9,1	0,87	28,2	1,15	20,5	2,383	0,188
16	9,3	9,1	0,88	28,1	1,15	20,5	2,405	0,190
17	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
18	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
19	9,1	9,2	0,78	27,9	1,15	20,6	2,093	0,164

Для 19 варіантів вугільної шихти проводилися дослідно-промислові ящикові коксування з подальшим визначенням показників CSR і CRI NSC-методом. Результати дослідних ящикових коксування вугільної шихти наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Результати ящикових коксування, %

варіант шихти	W ^t	A	S ^d t	V ^{dat}	CSR	CRI
1	4,8	12,4	0,68	0,5	51,0	35,0
2	3,6	12,3	0,71	0,6	51,7	33,8
3	4,3	12,4	0,72	0,6	51,9	32,6
4	4,2	12,2	0,75	0,5	50,1	35,1
5	3,8	12,0	0,74	0,5	52,5	33,2
6	4,4	12,1	0,72	0,5	50,4	36,6
7	4,4	12,0	0,72	0,6	52,5	34,5
8	4,0	11,9	0,69	0,6	53,8	32,1
9	4,3	12,0	0,69	0,6	52,4	32,5
10	3,6	12,0	0,70	0,6	50,7	32,8
11	4,0	11,8	0,74	0,5	52,8	32,0
12	4,0	11,8	0,74	0,6	52,1	34,1
13	3,4	11,8	0,73	0,5	53,5	32,3
14	3,4	11,9	0,72	0,6	53,6	32,6
15	3,7	11,6	0,76	0,5	52,6	35,8
16	4,1	11,6	0,77	0,5	52,7	33,9
17	3,7	11,5	0,75	0,5	50,8	31,9
18	4,8	11,8	0,72	0,6	53,2	33,9
19	3,9	11,7	0,5	0,71	53,3	31,9

Необхідно зауважити, що на коксохімічному виробництві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в якості прогнозних використовують розрахункові показники CSR та CRI коксу, як адитивні величини показників CSR і CRI коксових залишків різних марок вугілля, що входять до складу шихти, що визначаються NSC-методом. Для 19 варіантів досліджуваних шихт такі показники наведені як прогнозні в таблиці 3.10.

У даній роботі виконані розрахунки показників реакційної здатності CRI і післяреакційної міцності коксу CSR за математичними моделями, де в якості визначальних параметрів використовується індекс основності без урахування зольності і виходу летких речовин шихти. Дані розрахунку зведені в табл. 3.10.

На основі отриманих даних побудовано залежності показників реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу (розраховані за відомими моделями, прогнозовані показники як адитивні покомпонентно величини і дослідні, отримані в результаті ящикового коксування) від індексу основності золи 10 шихти (рис. 3.4, 3.5) і від індексу основності золи шихти I_0 - з урахуванням зольності і виходу летких речовин шихти (рис. 3.6, 3.7).

Таблиця 3.10 - Розрахункові дані показників CSR і CRI

варіант шихти	Показники якості, %					
	прогнознi (адитивні величини)		розрахункові (модель 1)		розрахункові (модель 2)	
	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR	CRI
1	49,96	34,68	60,28	25,43	54,26	31,31
2	49,96	34,68	60,28	25,43	54,29	31,31
3	49,50	33,63	59,86	25,83	54,30	31,20
4	47,52	34,33	59,43	26,43	54,15	31,42
5	47,95	33,61	59,20	26,46	53,99	31,55
6	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
7	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
8	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
9	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
10	49,21	34,32	59,67	26,01	53,67	31,79
11	48,72	34,19	59,43	26,24	54,01	31,53
12	48,84	34,17	58,62	27,02	53,57	31,87
13	47,59	34,79	58,38	27,25	53,79	31,70
14	47,35	35,04	58,38	25,25	53,79	31,70
15	47,35	35,04	56,90	28,66	51,97	33,13
16	46,13	35,71	56,67	28,88	51,77	33,28

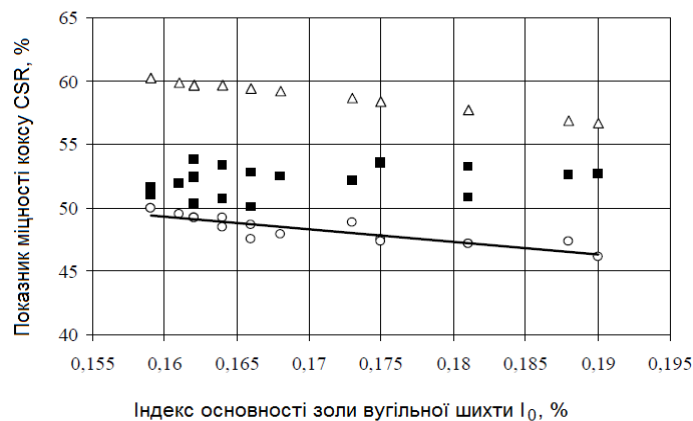


Рисунок 3.4 - Залежність показника CSR від індексу основності золи шихти

I_0 , ■ - ящикового коксування шихти, о - прогнознi показники як адитивні величини, Δ - розрахункові показники

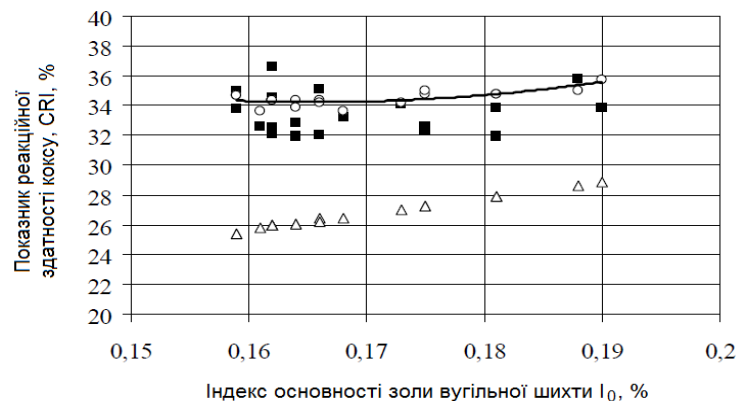


Рисунок 3.5 - Залежності показника CRI від індексу основності золи шихти

I_0 , ■ - ящикового коксування шихти, о - прогнознi показники як адитивні величини, Δ - розрахункові показники

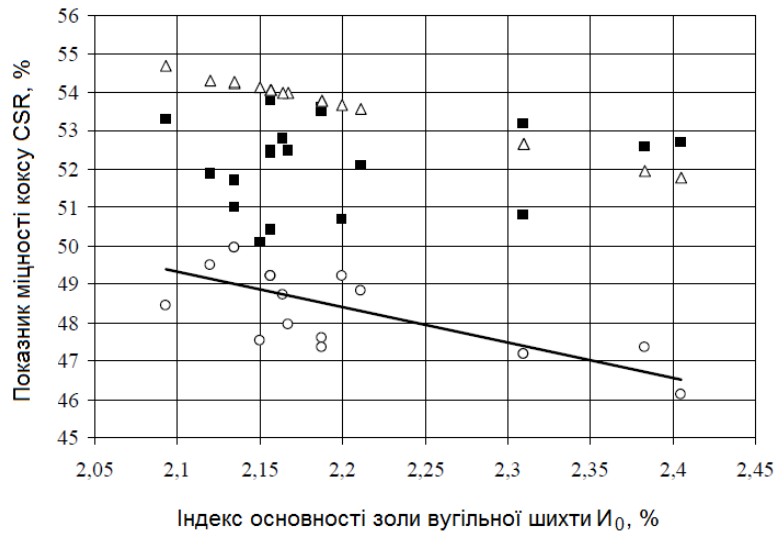


Рисунок 3.6 - Залежність показника CSR від індексу основності золи шихти I_0 , ■ - ящикового коксування шихти, о - прогносні показники як адитивні величини, Δ - розрахункові показники

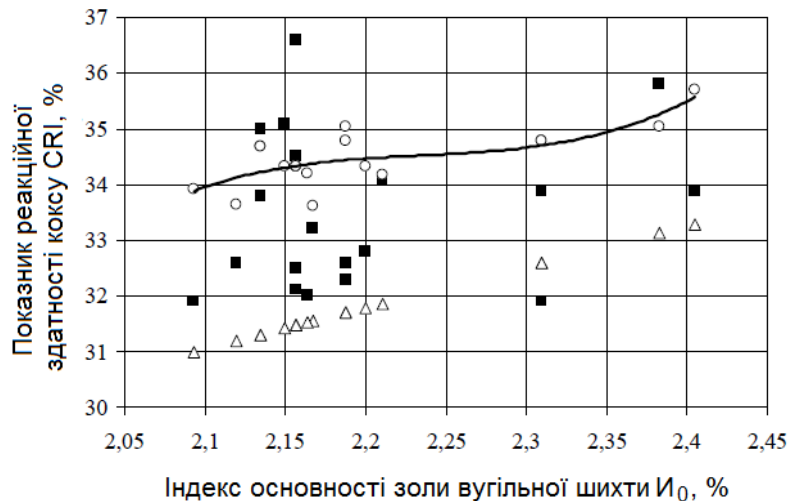


Рисунок 3.7 - Залежності показника CRI від індексу основності золи шихти I_0 , ■ - ящикового коксування шихти, о - прогносні показники як адитивні величини, Δ - розрахункові показники

Аналіз наведених залежностей показав:

- величини показників CSR і CRI, розраховані за моделями 1 та 2 з використанням індексу основності золи шихти (I_0) без урахування зольності і виходу летких речовин шихти, значно (близько 10%) відрізняються від прогнозних і дослідних показників;

- величини показників CSR і CRI, розраховані за моделями 1 і 2 з використанням індексу основності золи шихти (I_0) з урахуванням зольності і

виходу летких речовин шихти, близькі до дослідних показників;

- кореляція між отриманими показниками CSR і CRI коксу ящикових коксувань і індексами основності золи шихти відсутня;

- прогнозні показники CSR та CRI близькі до показників, отриманих при ящикових коксуваннях;

- залежно прогнозних показників CSR і CRI від індексу основності золи шихти без урахування зольності і виходу летких речовин шихти добре апроксимуються наступними рівняннями регресії

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= -100,4 I_0 + 65,42, R^2 = 0,80; \\ \text{CRI} &= 2275 I_0^2 - 753,7 I_0 + 96,66, R^2 = 0,6; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= -9,285 I_0 + 68,82, R^2 = 0,55; \\ \text{CRI} &= 158,8 I_0^3 - 1064 I_0^2 + 2377 I_0 - 1737, R^2 = 0,58. \end{aligned}$$

Залежно прогнозних показників CSR і CRI від індексу основності золи шихти з урахуванням зольності і виходу летких речовин шихти апроксимуються рівняннями регресії з більш низькими значеннями індексу апроксимації.

Прогнозувати показники якості доменного коксу (CSR і CRI) в умовах коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» доцільно з використанням розроблених моделей 1 та 2, отриманих на основі кореляційно-регресійного аналізу залежностей адитивних покомпонентних величин CSR і CRI вугільних шихт від індексу основності золи без урахування зольності і виходу летючих шихти. При цьому виключаються численні експерименти по визначенню CSR і CRI кожної марки вугілля NSC-методом і спрощуються розрахунки. Для підвищення достовірності розрахункових показників необхідно коригувати дані моделі, періодично поповнюючи базу даних по хімічному складу використовуваних вугільних концентратів і компонентних величин CSR і CRI, що визначаються NSC-методом.

3.3 Дослідження використання неспікливих добавок у виробництві коксу

Для ефективної і стабільної роботи доменних печей потрібний кокс з високою термомеханічної міцністю (CSR) і низькою реакційною здатністю (CRI),

а також з малим діапазоном коливань зазначених і ряду інших показників якості (волога, зола, сірка, вихід летючих речовин, гранулометричний склад, хімічний склад золи) [35]. Ці вимоги в рівній мірі поширюються як на роботу доменних печей без вдування пиловугільного палива (ПВП), так і на роботу доменних печей з технологією ПВП. Різниця полягає лише в посиленні в останньому випадку вимог до рівня показників CRI / CSR.

Останнім часом технологія вдування ПВП впроваджена на ряді металургійних комбінатів України: ПрАТ «Донецьксталь» металургійний завод», ПАТ «Алчевський металургійний комбінат», ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча».

Звідси виникає інтерес до проблеми цілеспрямованого впливу на процеси, що протікають на стадії пластичного стану вугілля при коксуванні, обумовлений пошуками шляхів регулювання якості коксу і розширенням сировинної бази коксування в умовах дефіциту добре спікливих вугілля [36]. Одним з рішень цієї проблеми може послужити вплив на властивості вугільних шихт шляхом введення в них різних добавок.

Узагальнюючи багаторічну практику багатьох дослідників і виробників по коксуванню вугільних шихт з різними добавками, можна запропонувати умовний поділ цих добавок на три основні групи, в залежності від їх технологічного походження (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Класифікація домішок до вугільних шихт

До групи неорганічних добавок можна віднести оксиди, карбонати, карбіди і ін., а до **ОТОЦЯЮЩИХ** - антрацит, напівкокс, коксова дрібниця і пил.

Органічні добавки в основному являють собою тверді і рідкі побічні продукти нафтохімічного (кислі гудрони, нафтової шлам, відпрацьовані мастила, мастильно-охолоджуючі рідини та ін.) і коксохімічного виробництв (кисла смолка, фуси і ін.).

Слід зазначити, що в більшості випадків внесення в шихту **отощающих** і органічних добавок не обумовлюється тенденцією отримання високоякісного коксу. Найчастіше це викликано необхідністю утилізації вторинних продуктів без зниження якісних показників коксу і хімічних продуктів коксування або падінням попиту - наприклад, на коксову дрібницю і пил (в разі **отощающих** добавок).

Особливий інтерес викликають мезогенні добавки, наприклад, нафтові і кам'яновугільні пеки, в певних умовах здатні утворювати рідкокристалічні структури (мезофаза) [37-39]. Зародки впорядкованої структури в подальшому відіграють важливу роль в процесі спікання вугільних композицій і в формуванні міцної структури коксу. Це має принципове значення, оскільки основні властивості коксу - міцність, розвиток мікро- і макротріщин, реакційна здатність - пов'язані зі ступенем анізотропії його структурних складових.

Метою даного дослідження є розгляд розробок по введенню в вугільну шихту для коксування **отощающих** і неорганічних добавок.

Отощающие добавки

За даними авторів роботи [40] добавка тонкоподрібнених коксового дріб'язку і антрациту збільшує міцність коксу і вихід його великих класів внаслідок зменшення усадки. При завантаженні в печі вологою шихти насипом добавка коксового дріб'язку дозволяє збільшити M_{40} і вихід великих класів коксу без погіршення M_{10} . Отже, це може представляти практичний інтерес для поліпшення зазначених характеристик або для зниження вартості шихти. Однак неможливо зменшити при цьому пайову участь коксового вугілля, тому що таке скорочення призвело б до підвищення M_{10} , що не компенсується добавкою коксового дріб'язку. Використання коксового дріб'язку в цих умовах представляє лише теоретичний інтерес і не може бути рекомендовано виробникам.

До іншого висновку можна прийти в разі, коли міцності коксу на стирання

надають менше значення. Це відноситься до практики виробництва ливарного коксу, який повинен бути більшим і залишатися таким, незважаючи на механічні дії, які він зазнає. У цих випадках рекомендується добавка коксового дріб'язку.

При завантаженні трамбованої шихти додавання коксового дріб'язку стає абсолютно обов'язковим, оскільки в цьому процесі мають на меті отримати M_{40} близько 80. Трамбування ефективно покращує M_{10} , але не M_{40} . З цього випливає, що кокс з трамбованої шихти мають одночасно високу міцність на стирання (і це дозволяє вводити значну кількість **отощающих** добавок) і низьким показником M_{40} , який можна поліпшити додаванням коксового дріб'язку [41] або коксового пилу [42].

У роботах [43-44] були проведені дослідження щодо впливу різних **отощающих** добавок на показники спікливості і спікливої здатності вугілля. Авторами запропонований послідовний ряд наповнювачів спаданням показників спікливості і спікливої здатності: пил УСТК → коксовий дріб'язок → пил УБВК.

Більш високі показники спікливості і спікливої здатності для вугілля з добавкою пилу УСТК і дробленого коксового дріб'язку в порівнянні з пилом УБВК пояснюються, по всій видимості, анізотропною і досить пористою структурою поверхні частинок: пластична маса проникає в пори і нерівності, відбувається так зване її «заклинювання», що, в свою чергу, призводить до більш міцного контакту (рис. 3.9). На мікрофотографіях аншлафа пилу УСТК і дробленого коксового дріб'язку можна спостерігати значну кількість дрібних пір.

Автори роботи [45] наводять результати досліджень по добавкам в вугільні шихти коксового пилу УСТК. Показано, що добавка 3% пилу практично не позначається на якості шихти. Підвищення кількості пилу до 5-7% збільшує зольність шихти, при цьому знижується вихід летких речовин і погіршується спікливість шихти. Слід зазначити істотні зміни гранулометричного складу коксів: добавка 3% коксового пилу до шихти збільшує вихід класу > 80 мм більш ніж в два рази в порівнянні з коксом з промислової шихти. Даний факт свідчить про зменшення тріщинуватості коксу. Дещо збільшується вміст класу < 25 мм - результат збільшення стирання коксу. Вміст інших класів значно скорочується. Збільшення частки коксового пилу у вугільних шихтах до 5-7% призводить до

додаткової зміни гранулометричного складу коксу в зазначеному вище напрямку. Показник міцності коксу M_{40} при цьому має явну тенденцію до зростання. Зниження показника M_{25} помітніше, чим більше участь коксової добавки в шихті.

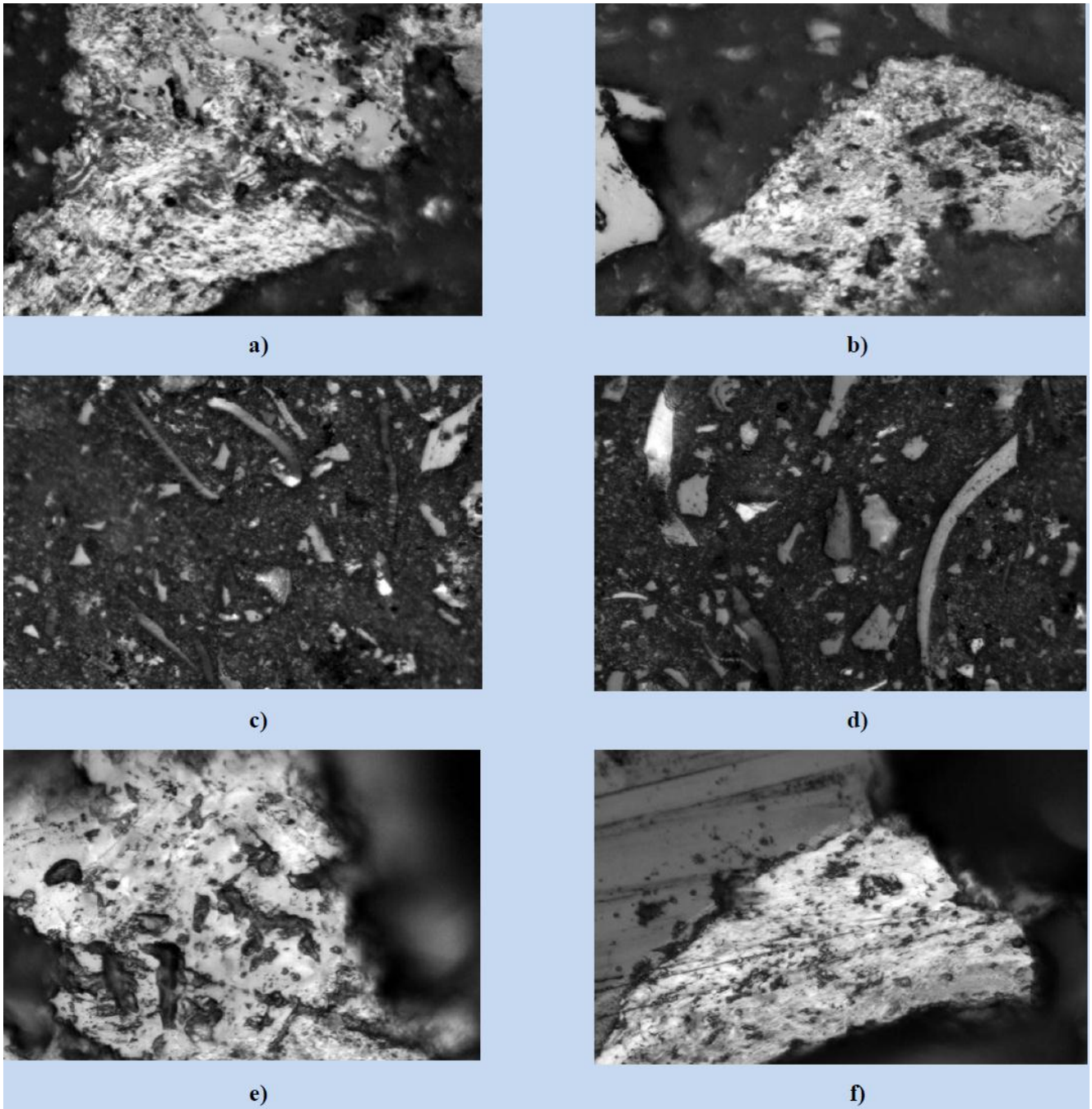


Рисунок 3.9 - Мікрофотографії шліфів зразків неспікливих наповнювачів: а, б - коксовий дріб'язок; с, d - пил УБВК; е, f - пил УСТК [45]

Також слід зазначити, що при використанні коксового пилу УСТК в промислових умовах досягнута економія в споживанні вугілля марки «К» (на 12000 т/рік) [14] і марки «КС» (на 15600 т/рік) [46].

Аналогічні дослідження проводилися в роботах [47-48], в тому числі і для

отримання ливарного коксу поліпшеної якості. Встановлено, що введення в шихту Кемеровського коксохімічного заводу дрібнодисперсного пилу УСТК в кількості 1,6% при збереженні виробничого режиму коксування дозволяє збільшити вихід великих класів коксу (наприклад класу > 40 мм в середньому на 5%) і підвищити механічну міцність ливарного коксу по M_{40} на 1,3% (до 76,4%).

Автори робіт [49,50] особливу увагу приділили механізму впливу **отоцяючих** добавок на процеси впорядкування структури коксу. В лабораторних умовах були проведені експерименти по впливу пилу УСТК і піритного шламу (віднесення останнього до інертних отоцяючих добавок викликає серйозні сумніви) на піроліз ковальського газового вугілля ($W^a = 2,1\%$, $A^d = 7,34\%$, $V^{daf} = 40,82\%$, $y = 13$ мм) [41]. Цими дослідженнями встановлено, що дія пилу УСТК і піритного шламу, що приводить до збільшення міцності коксу, ґрунтується на різних механізмах. У першому випадку має місце ефект упорядкування структури пластичної маси вугілля за рахунок внесення тонкодисперсного наповнювача, добре відомий, наприклад, в технології полімерів.

Незначні по масі добавки піритного шламу ($<0,5\%$ від загальної маси шихти) більш істотно впливають на піроліз газового вугілля, мабуть, проявляючи каталітичні властивості [42]. Відомо, що для нізкометаморфізованого вугілля характерні високі швидкості реакцій групи термічного синтезу, обумовлені конденсацією за участю високореакційних кисневмісних груп. Додавання піриту викликає додаткові ефекти, що сприяють процесам взаємної просторової орієнтації молекулярних утворень і утворення мезофази [45].

Неорганічні добавки

Значна увага приділяється вивченню впливу на якість одержуваного коксу різних неорганічних добавок, що вводяться в шихту для коксування. Початок інтенсивних досліджень в цьому напрямку доводиться на 60-70-ті роки ХХ століття.

Так, в роботі [48] описані лабораторні коксування вугілля різного ступеня метаморфізму з добавками 5 і 10% Cr, Ni, Co, Mn, Zn, Cr_2O_3 , CaO, MnO_2 , Al_2O_3 , ThO_2 , NiO, Fe_2O_3 . Встановлено, що всі добавки, за винятком Al_2O_3 , сприяють збільшенню виходу коксу і смоли. При цьому вихід надсмольної води і газу

практично не змінювався. Добавки металів не приводили до зміни механічної міцності коксу, а добавки оксидів металів значно її зменшували. Дія добавок проявлялося в більшій мірі при нагріванні вугілля до 600 °С, і в меншій - при більш високих температурах.

У патентному огляді [49] вказується, що ряд фірм Німеччини запропонували модифікувати вугільну шихту для коксування шляхом введення в неї неорганічних добавок: дрібнодиспергованих оксидів титану та оксиду заліза. Фірма «International Mineral & Chemical Corporation» запропонувала і захистила спосіб отримання металургійного і ливарного коксів на основі суміші вугілля однієї або декількох марок з гранульованим алюмінієм. Вміст в суміші $Al > 0,3\%$. Період коксування при цьому скорочується не менше ніж на 10% (можливо скорочення і до 30%).

У Чехії розроблені способи отримання якісного металургійного коксу при введенні в суміші вугілля, призначеного для коксування, різних добавок - як органічних, так і неорганічних: каталізатор Al_2O_3 у вигляді порошку з частинками < 1 мм в кількості 0,05-0,50% від маси шихти [50].

Дослідження [32] показують, що додавання алюмінію розміром < 1 мм в кількості 2,5% (по масі) в шихту дозволяє збільшити показник коксу M_{40} на 20%, але істотно збільшує зольність коксу.

Розроблена шихта для отримання металургійного коксу, що містить червоний шлам глиноземного виробництва в кількості 0,25-5,0% (по масі) [24]. Червоний шлам має наступний склад, %, за масою: $CaO - 12,1$; $Fe_2O_3 - 42,2$; $Al_2O_3 - 14,1$; $SiO_2 - 9,4$; $TiO_2 - 3,9$; $Na_2O - 4,1$; $S - 1,7$. Така шихта дозволяє збільшити в коксі вміст класу > 40 мм до 42,6%, знизити вихід дрібниці (< 5 мм) до 0,2% і утилізувати червоний шлам.

В роботі [12] вивчено вплив добавок піску, глини та окису заліза на товщину пластичного шару для коксового вугілля ($W^a = 1,48\%$, $A^d = 8,0\%$, $V^{daf} = 35,12\%$, $y = 16$ мм). Автори встановили, що з підвищенням кількості неорганічних добавок індекс спучування вугілля зменшується. Найбільший вплив зробили добавки з більш вираженими сорбційними властивостями: у кварцового піску сорбційна здатність менш виражена в порівнянні з оксидами кальцію і заліза. При

одній і тій самій кількості добавок зменшення пластичного шару було тим більше, чим вище сорбційна здатність добавки, що значно погіршує спіклівість вугілля.

Канадськими дослідниками наводяться результати дослідного коксування в пілотній камерній печі (завантаження - 300 кг, ширина камери - 460 мм) шихт з добавками 0,2-2,0% (масові частки) подрібнених мінералів і хімічних речовин [18]. У число добавок входили каолін, кварц, плагіоклаз, ортоклаз, мусковіт, боксит, рутил, апатит, гіпс, оксиди алюмінію і магнію, вапно, пірит, сидерит, гематит, магнетит і сірка. Для кожної композиції проводили по 4-5 коксувань зі статистичною обробкою результатів досліджень. Вивчено канадське і вугілля Аппалачі. Було підготовлено 14 ідентичних базових шихт, що включають низьколетких (25%) і два високолетких (по 37,5%) вугілля.

Автори встановили, що при введенні мінералів вміст ізотропних і тонкомозаїчних структур в коксі помітно зростає в залежності від вмісту оксидів заліза в золі вугілля.

По дії на показники CSR та CRI мінерали поділяють на ті що зберігають або покращують ці показники і ті, які істотно знижують CSR. До перших відносять апатит, плагіоклаз, ортоклаз, мусковіт, оксид алюмінію, каолін і кварц. До добавок, що погіршує ці властивості коксу, тобто підвищує реакційну здатність і знижує міцність коксу після реакції, в різного ступеня віднесені пірит, сидерит, гематит, боксит, кальцит, гіпс, вапно і магнезія. Все це відноситься до добавкам в кількості 1%.

Отримані кокси нагрівали зі швидкістю 5,5 °C/хв до 1500 °C і витримували 2 год при цій температурі. Встановлено, що внесення мінеральних добавок збільшує втрату маси при високотемпературній обробці коксу. Найбільшою мірою це характерно для добавок, що містять Ca і Mg. Сумарна втрата маси складається з втрати вуглецю за рахунок піролізу і реакцій газифікації з оксидами мінералів. У золі виявлений карбід кремнію. Встановлено зміну структури коксу, що виразилося в зниженні частки мозаїчних складових [16].

Робота [27] присвячена дослідженню впливу графітової складової, 3d-металів і деяких з'єднань на реакційну стійкість вуглецевих матеріалів - в тому числі і промислових коксів. Дані КР-спектроскопії досліджуваних коксів

показують, що в коксі частина вуглецю знаходиться у вигляді графітової складової, яка, можливо, утворилася в результаті низькотемпературної каталітичної графітації в присутності різних 3d-металів. Найбільшою часткою графітової складової характеризується кокс 7, концентрація Fe в якому максимальна - 7,6%. З іншого боку, присутність заліза, очевидно, каталізує реакцію взаємодії вуглецю з CO₂, в результаті чого реакційна стійкість коксу 7 нижче, ніж коксів 1-6. У коксі 7 міститься також найбільша кількість лужноземельних металів (Mg, Ca, Ba), які, можливо, посилюють взаємодію вуглецю з CO₂.

Таблиця 3.11 - Дані поелементного складу коксів [27]

елементи	Вміст елементів в зразках, %						
	кокс 1	кокс 2	кокс 3	кокс 4	кокс 5	кокс 6	кокс 7
H, C, O, N	83,4	84,6	84,2	85,0	84,7	85,8	75,6
Al	2,9	2,6	3,3	2,7	2,6	2,8	1,2
Ba	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	1,3
Ca	1,8	1,8	1,3	1,8	2,2	1,6	8,7
Cl	0,03	0,09	0,07	0,07	0,02	0,02	0,09
Cr	0,004	0,006	0,007	0	0	0	0
Cu	0,006	0,007	0,012	0,005	0,006	0,009	0
Fe	3,2	2,5	2,9	2,7	2,5	2,3	7,6
K	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,1
Mg	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	2,1
Mn	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,05
Ni	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
P	0,11	0,13	0,09	0,15	0,14	0,21	0,02
S	1,38	1,57	1,44	1,79	1,39	1,60	1,93
Si	5,5	5,2	5,4	4,3	4,7	4,2	1,2
Sr	0,10	0,10	0,08	0,15	0,13	0,12	0,10
Ti	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,12
V	0,012	0,006	0,012	0,002	0,008	0,009	0
Zn	0	0	0	0,01	0,008	0,009	-
Zr	0,02	0,014	0,012	0,022	0,013	0,02	-
Ar	0	0	0	0	0	0	-
Na	0	0	0	0	0	0	-
Br	0	0	0	0,014	0	0	-

Дані таблиці показують також, що присутність кремнію в кількості 4,2-5,5%, а також алюмінію в кількості 2,6-3,3% знижують реакційну активність вуглецю при впливі CO₂. В результаті реакційна стійкість коксів 1-6 знаходиться на рівні графіту, а в порівнянні з пенографітами вища навіть в разі меншій мірі графітації. У коксі 7 вміст кремнію і алюмінію найнижче.

З вищевикладеного автори досліджень [27] роблять висновки, що реакційну

активність вуглецевих матеріалів, в тому числі і коксів, можна знизити (тим самим підвищивши їх реакційну стійкість) шляхом збільшення в складі цих матеріалів графітової складової або захищаючи реакційні центри вуглецю введенням оксидів кремнію і / або алюмінію в кількостях, мінімально необхідних для вираженого каталітичного ефекту. Для забезпечення реакційної стійкості вуглецевих матеріалів необхідно також забезпечити низький вміст в їх складі лужноземельних і 3d-металів (Fe, Ni). Присутність останніх хоча і збільшує графітову складову, але ще більш значно каталізує реакцію взаємодії вуглецю з CO_2 , в результаті чого зменшується реакційна стійкість вуглецевих матеріалів.

3.4 Дослідження впливу вмісту вологи у вугільній шихті на якість доменного коксу

Висока вологість вугільної шихти і великі її коливання найбільш сильно впливають на властивості міцності коксу. Шихта повинна надходити в вуглепідготовчий цех коксохімічних підприємств з вмістом вологи не вище 6-7% або необхідно вживати заходів для її сушіння на коксохімічних підприємствах.

При класичною технологією шарового коксування марочний склад і властивості вугільної шихти є головними факторами, які визначають фізико-механічні властивості коксу, а при підготовці вугілля і шихт для коксування головним фактором є насипна маса вугільної шихти. У той же час найбільший вплив на насипну масу вугільної шихти, без застосування механічних способів її збільшення (трамбування, брикетування і т.д.), надає вміст у ній вологи, золи і ступінь помелу шихти. У свою чергу, ці фактори впливають на тепловий режим процесу коксування, фізико-механічні властивості коксу, вихід і якість хімічних продуктів коксування [45]. Слід при цьому підкреслити переважаючий вплив вмісту вологи в шихті на тепловий режим коксування і зміна градієнта усадок шихти при її коксуванні в порівнянні з її впливом на насипну масу шихти. Не завжди збільшення насипної маси шихти призводить до поліпшення якості коксу, якщо при цьому вологість шихти не знижується, а зростає. Аналогічним чином поводить ся і зола. Так при збільшенні зольності шихти насипна маса зростає, а

механічна міцність коксу падає, тому що частинки золи є концентраторами напруги в шматках коксу, через що вони руйнуються.

Вивченню впливу вологості шихти на зміну її насипної маси присвячена велика кількість робіт. Так дані, наведені в роботі [47], показують, що при загальній вологості вугілля 1% його насипна маса зі збільшенням ступеня помелу зростає і має максимум при вмісті класу 3-0 мм від 75 до 80%. При вологості 2% характер кривої той же, але максимум виражений менш чітко і знаходиться в області змісту класу 3-0 мм близько 90%. Збільшення вологості з 4 до 8% і вище викликає різке зменшення величини насипної маси вугільної шихти при будь-якому вмісті класу 3-0 мм, що підкреслює найбільший вплив вологості шихти на її насипну масу. У цій роботі також наведені графіки залежності насипної маси вугілля від вологості для вузьких класів його ситового складу. Найнижчу насипну масу має "отощающая" фракція 0-0,5 мм при вологості 10-14%.

Дослідженнями [4], показано, що вологість вугільної шихти має суттєвий вплив на характер процесів, що протікають в камері коксування, і якість коксу. Вплив вологості шихти на фізико-механічні властивості коксу пояснюються як зміною умов теплопередачі у вугільному завантаженні по висоті коксового пирога на різних етапах його коксування, так і деяким зниженням готовності коксу в зв'язку зі зміною температур через необхідність витрат додаткової теплоти на видалення баластної вологи. Дослідні коксування вугільних шихт з різним марочним складом і рівнем вологості показали істотні зміни готовності пирога, і як наслідок, міцності доменного коксу. Встановлено, що підвищення вологості шихти з 7,3 до 12,6% призводить до збільшення стиранням коксу по показнику M_{10} з 8,6 до 10,

Дослідження, проведені на Ясинівському коксохімічному заводі на шихтах з шістьма варіантами по вологості, показали, що зі збільшенням вологості шихти якість коксу знижується. Підвищення вологості з 8,1 до 14,7% призвело до зниження міцності коксу по показнику M_{40} з 75,8 до 73,5% і збільшення стиранням коксу по показнику M_{10} з 6,7 до 8,9%. В роботі також показано, що навіть невеликі зміни вологості шихти призводять до істотної зміни фізико-механічних властивостей коксу [32].

У зв'язку з таким впливом вологи на показники якості коксу, значний ефект в поліпшенні цих показників спостерігається при глибокій сушці шихти, технологія якої була неодноразово випробувана на Харківському коксохімічному заводі за пропозицією УХІН [35]. Дослідженнями було встановлено, що зниження вологості шихти з 10,2 до 2,4% призводить до зростання її насипної маси з 699 до 857 кг/м³ і збільшення разового завантаження в печі на 21,1%. Одночасно зі зниженням вологості шихти відбувається зменшення періоду коксування до 2 годин. Вихід металургійного коксу відповідно збільшується на 21,5% при зростанні загальної продуктивності печі на 40,5%. Поліпшується і якість коксу, так зниження вологості шихти призводить до підвищення коефіцієнта газопроникності насипної маси коксу з 259 до 283 і зростання міцності кускового коксу з 7,41 до 8,09 кг·об/дм² (за методом К.І. Сискова [1]). При зменшенні вологості шихти показник M_{40} збільшується на 1,1-1,8%, а M_{10} зменшується на 1-2,1%.

Автори роботи [40], вивчаючи зміни насипних мас вугільної шихти складу: Г 30%, Ж 38%, К 17% і ОС 15%, підготовленої за схемою роздільного дроблення при подрібненні 90 і 84,6% класу < 3 мм в залежності від вологості шихти, встановили, що мінімальна насипна маса на рівні 657 і 694 кг/м³ спостерігається при вологості шихти 7,54-7,43%. У той же час при вологості 2,14% (подрібнення 90%) і вологості 2,35% (подрібнення 84,6%) максимальна насипна маса в перерахунку на суху шихту відповідно становить 819 і 852 кг/м³. Зменшення ступеня подрібнення вугільної шихти з 90 до 84,6% класу < 3 мм при однаковій вологості збільшує насипну масу в середньому на 4%. Дослідні коксування вугільної шихти різної вологості і ступеня помелу показали, що зниження вологості шихти справляє помітний вплив на зміну фізико-механічних властивостей коксу. Так вихід класів > 80 мм зменшується на 2,2-11,7%, а вихід класу 40-80 мм збільшується на 1-13%, що особливо помітно в коксі з шихт укрупненого подрібнення. Ситовий склад коксу, отриманого з підсушених шихт, стає більш рівномірним. Підсушка шихти дозволила збільшити показник M_{40} на 2,2-4,8% і зменшити M_{10} на 1,8-5,1%.

Крім цього, як зазначають автори роботи [36], і на нашу думку це дуже

важливо, кокс з підсушених шихт характеризується постійністю (стабільністю) показників якості за фізико-механічними властивостями, так як щільність завантаження підсушеної шихти при зниженні її вологості стає більш рівномірною по довжині і висоті пічної камери.

Роботи за попереднім сушінням вугілля проводилися і за кордоном. У Франції на заводі Агонданж дві коксові батареї були переведені на коксування вугільної шихти, підсушеної до 1-2% вологості, що дало змогу збільшити вміст слабоспікливих газового вугілля в шихті до 70% при збереженні на високому рівні якості металургійного коксу зі збільшенням продуктивності діючих печей [8].

Автори роботи [29] провели експеримент з метою дати відповідь на питання, що є основною причиною зміни якості коксу при сушінні шихти - те, що відбувається зміна насипної маси або зміна умов переносу тепла в завантаженні? Були проведені порівняльні коксування шихт вологістю 3, 6, 9 і 12% з коксуванням шихти постійної вологості 12%, ущільненої спеціальним способом до рівня величин, які були отримані для шихт вологістю 3, 6 і 9%. Дослідженнями було показано, що крива зміни насипної маси шихти при фактичній вологості круто знижується в діапазоні вологості 3-7% і проходить через мінімум при вологості 9-10%. Крива зміни насипної маси шихти при перерахунку на суху масу також круто знижується в діапазоні вологості 3-9% і проходить через мінімум при вологості 12%. При зниженні вологості шихти з 12 до 3%, супроводжуваної підвищенням фактичної насипної маси шихти, відбуваються такі зміни показників якості коксу: збільшується механічна міцність коксу по показнику M_{40} на 2,2%; знижується зношуваність за показником M_{10} на 1,9%; збільшується структурна міцність на 6,1% і знижується пористість коксу на 5,1%. При збільшенні насипної маси шихти (при постійній вологості) з 705 до 859 $\text{кг}/\text{м}^3$, тобто в тих же межах, що і при зниженні вологості з 12 до 3%, відбувається: збільшення показника M_{40} на 0,9%; збільшення структурної міцності на 3,3% і зниження пористості на 1%. Вплив вологості на якість коксу позначається в основному в інтервалі 9-12%, а вплив насипної маси головним чином при високих її значеннях, відповідних змінам вологості в межах 3-6%.

Важливим є і питання економічної ефективності попередньої сушки вугілля

перед коксуванням. Розрахунки, виконані автором роботи [10] показують, що як за питомими капітальними вкладеннями, так і за експлуатаційними витратами коксові печі, як сушильні пристрої, поступаються навіть таким недосконалим сушаркам як барабанні. Експлуатаційні витрати на випаровування 1 тонни вологи в коксових печах вище, ніж в барабанних сушарках в 3,9 рази. Пояснюється це тим, що сушка шихти поза коксової камери не пов'язана з факторами, що визначають оптимальні умови коксування: шириною коксової камери, відсутністю можливості перемішування шихти, обігрівом через стінку, певною швидкістю нагріву і т.д. У коксовій камері в процесі повного видалення вологи з вугільного завантаження вся маса вугілля повинна бути прогріта до температури вище 100 °С, в той час як в барабанній сушарці температура не піднімається вище 70 °С. При сушінні шихти поза коксової камери відпадає необхідність перегріву водяної пари до температури евакуації газо-пароподібних продуктів коксування, крім того з'являється можливість утилізації тепла димових газів коксових печей, що може позитивно позначитися на зниженні експлуатаційних витрат процесу сушіння шихти. Крім барабанних сушарок існують апарати сушки вугільної шихти в киплячому шарі, у яких інтенсивність сушки в 6-8 разів вище, ніж у барабанних сушарок. Витрата тепла на випаровування вологи в сушарках з киплячим шаром нижче, ніж в барабанних сушарках і коксових печах. На Макіївському коксохімічному заводі провели випробування коксування шихти після сушки в апараті з киплячим шаром. Якість коксу навіть при незначному зниженні вологості шихти з 12,22 до 10,55% зросла, так показник міцності коксу M_{40} виріс з 75,48 до 77,23%, а показник стирання коксу M_{10} знизився з 8,0 до 7,4%. Експлуатаційні витрати на випаровування 1 тонни вологи в апаратах з киплячим шаром нижче, ніж в коксових печах в 5,7 рази [10].

Переважаючий вплив вологості шихти і її коливань на якість коксу добре ілюструється результатами роботи коксових батарей 1-4 КХП ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" в 2019 році. В період з 01.01 по 31.07.2019 року на ці батареї надходили вугільні концентрати в середньому від 9 постачальників. Показники якості шихти були наступні (середні за період): u - 18 мм, V_t - 75%, ΣOK - 23%, R_0 - 1,11%, $C_{ш}$ - 60,7%, $K_{ш}$ - 2,6%. Марочний склад: Γ - 10,8%, \mathcal{J} -

67,1%, К - 14%, ОС - 5,5% і 2,6% решта. При цьому в період з 01.01 по 31.07.2019 року на цих батареях спостерігалось значне зростання показників міцності коксу M_{25} з 83,0 до 88,6% (рис. 3.10) і зниження показника стирання коксу M_{10} з 8,6 до 7,2% (рис. 3.11).

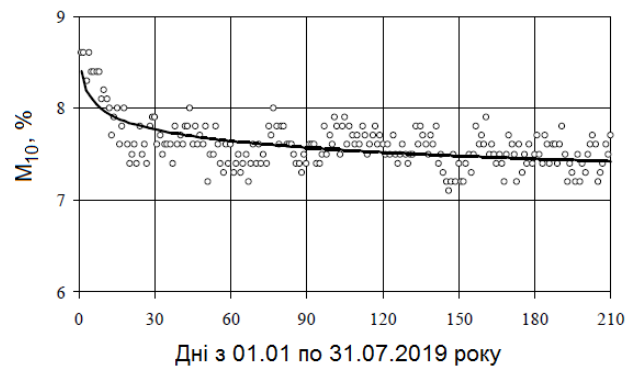
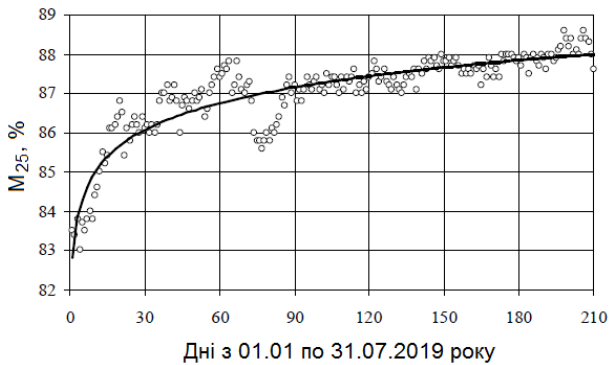


Рисунок 3.10 - Динаміка зміни показника M_{25}

Рисунок 3.11 - Динаміка зміни показника M_{10}

Що ж привело до такого зростання якості коксу? Для відповіді на це питання проаналізуємо, як в цей період змінювалися показники якості шихти. Так, насипна маса шихти збільшилася з 0,774 до 0,792 т/м³ (рис. 3.12), вміст класу 0-3 мм в шихті спочатку знизилася з 88,2 до в середньому 86,7; а потім знову зросла до 87,6%, при цьому також змінювався і вміст у вугільній шихті "отощаючого" класу 0-0,5 мм з 47,5 до в середньому 45,4 і потім до 46,3%. Вміст золи в шихті в цей період в середньому було 9,2-9,7%. Найзначніше за весь період знижувався вміст води в шихті з 11,4 до 6,6% (рис. 3.13), що, загалом, і призвело до підвищення насипної маси шихти і поліпшенню якості коксу за показниками M_{25} і M_{10} .

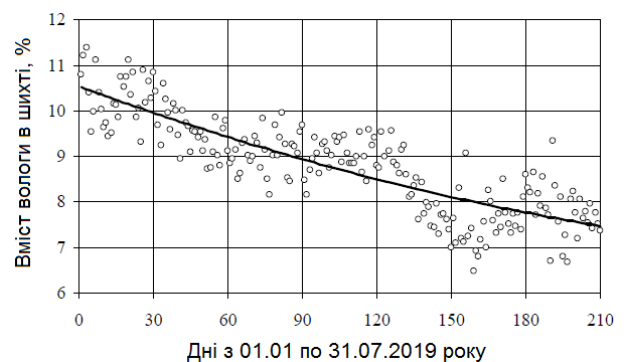
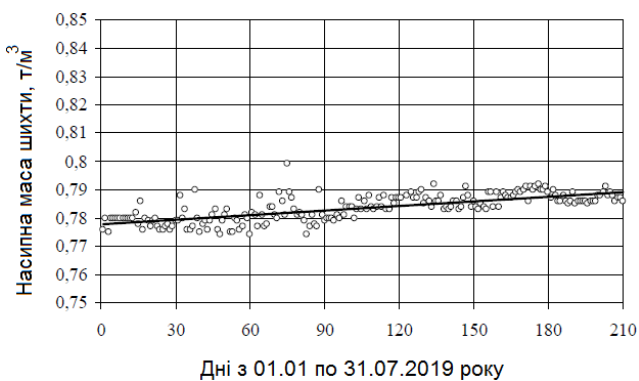


Рисунок 3.12 - Динаміка зміни насипної маси шихти

Рисунок 3.13 - Динаміка зміни вмісту води в шихті

Слід звернути увагу і на високе коливання показників M_{10} коксу і вмісту золи і води в шихті. Так коефіцієнти варіації відповідно склали: M_{25} - 0,54%, M_{10} - 2,63%, насипна маса шихти - 0,36%, ступінь дроблення шихти 0-3 мм - 0,26%, "отощающий" клас 0-0,5 мм - 0,94%, вміст золи - 3,68% і вміст води - 8,81%.

У другому аналізованому періоді з 01.08 по 31.12.2019 року на 1-4 батареї надходили вугільні концентрати в середньому від 8 постачальників. Показники якості шихти були наступні (середні за період): y - 19 мм, V_t - 75%, ΣOK - 23%, R_0 - 1,1%, СШ - 69,0%, $K_{ш}$ - 3,0%.

Марочний склад: Г - 5,0%, Ж - 75,8%, К - 16,3%, ОС - 1,8% і 1,1% інші. В період з 01.08 по 31.12.2011 року показник міцності коксу M_{25} став різко падати з 88,0 до 84,5% (рис. 3.14), а показник стирання M_{10} виріс з 7,3 до 8,0% (рис. 3.15). Що ж в цьому випадку стало причиною погіршення показників міцності якості коксу?

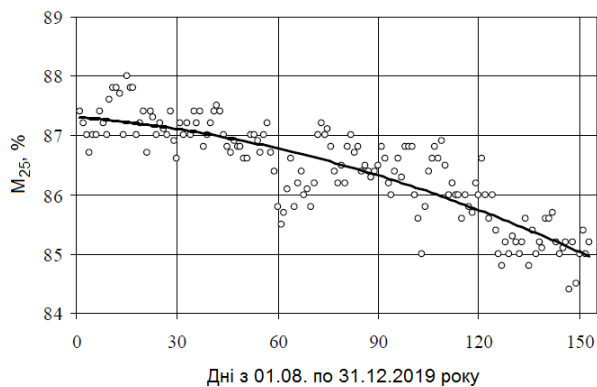


Рисунок 3.14 - Динаміка зміни показника M_{25}

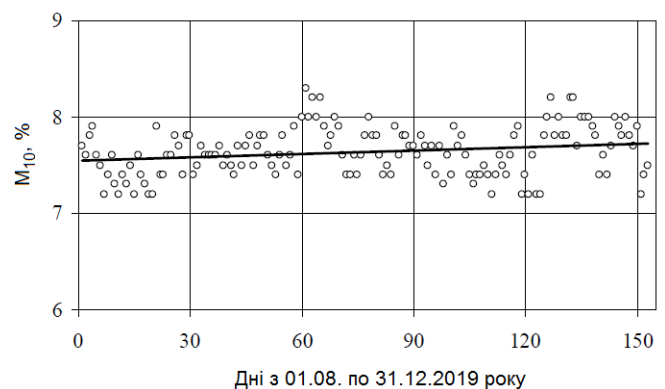


Рисунок 3.15 - Динаміка зміни показника M_{10}

Насипна маса в порівнянні з першим періодом збільшилася більш значно з 0,783 до 0,820 т/м³ (рис. 3.16), вміст класу 0-3 мм в шихті різко знизили з 87,4 до в середньому 76,6%, при цьому також знизився і вміст в шихті "отощающего" класу 0-0,5 мм з 46,0 в середньому до 36,6%. Вміст золи в шихті в цей період змінювався (в середньому) в тому ж діапазоні, що і в першому періоді. Вміст води в шихті в цей період збільшився в середньому з 7,3 до 8,7% при значному коливанні вмісту води в шихті, коефіцієнт варіації виріс з 8,81% в першому періоді до 9,43% у другому періоді (рис. 3.17).

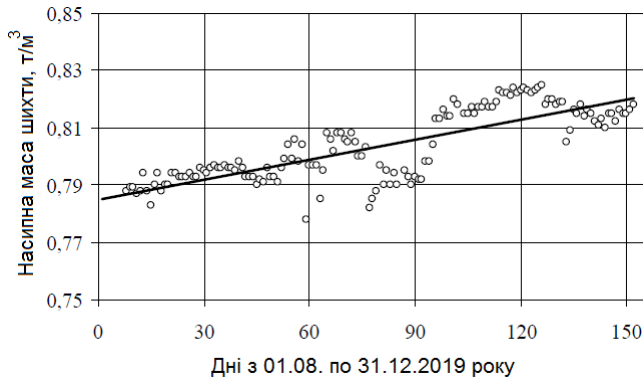


Рисунок 3.16 - Динаміка зміни насипної маси шихти

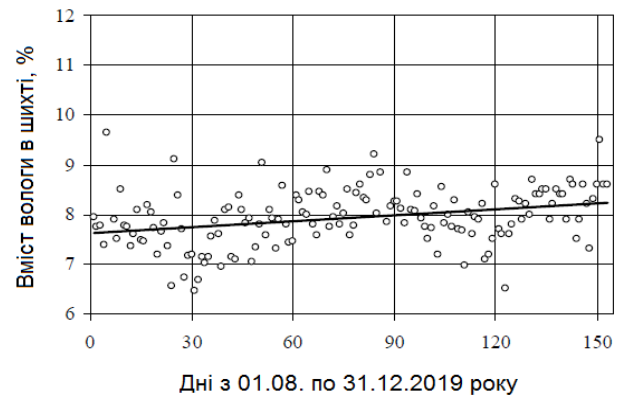


Рисунок 3.17 - Динаміка зміни вмісту вологи в шихті

Коефіцієнти варіації інших показників якості коксу і шихти в другому періоді склали: M_{25} - 0,46%, M_{10} - 2,95%, насипна маса - 0,71% (зріс в два рази в порівнянні з першим періодом), ступінь дроблення 0-3 мм - 0,79% (зріс в три рази), "отощающий" клас 0-0,5 мм - 2,74% (зріс в три рази), вміст золи - 1,92%.

Таким чином, незважаючи на істотне зростання насипної маси, який стався за рахунок значного зниження ступеня дроблення і вмісту в шихті «отощающего» класу, а також за рахунок збільшення вмісту золи в шихті, показники якості коксу M_{25} і M_{10} погіршилися. Пояснити це можна зростанням, перш за все, вмісту вологи в шихті і збільшеними її коливаннями в цьому періоді, а також збільшенням коливання насипної маси, ступеня дроблення і вмісту "отощающего" класу в шихті. Якість коксу погіршилася через домінуючий вплив вмісту вологи в шихті і її коливань на тепловий режим коксування і зміну градієнта усадок шихти при її коксуванні.

Використовуючи дані промислового випробування, провели множинний кореляційний аналіз для визначення впливу вмісту золи A , класу 0-3 мм, класу 0-0,5 мм і вологи W в шихті на показники якості коксу M_{25} , M_{10} і насипну масу $\rho_{ш}$ шихти. Отримано регресійні рівняння

$$M_{25} = 95,66 - 0,39 \cdot (A) - 0,1 \cdot (0-3 \text{ мм}) + 0,28 \cdot (0-0,5 \text{ мм}) - 0,9997 \cdot (W);$$

$$M_{10} = 1,28 + 0,12 \cdot (A) + 0,1 \cdot (0-3 \text{ мм}) - 0,11 \cdot (0-0,5 \text{ мм}) + 0,19 \cdot (W);$$

$$\rho_{ш} = 1,14 + 0,0002 \cdot (A) - 0,005 \cdot (0-3 \text{ мм}) + 0,002 \cdot (0-0,5 \text{ мм}) - 0,004 \cdot (W).$$

Більш високі коефіцієнти регресії характерні для фактора вологості шихти, що свідчать про найбільший вплив вологи на розглянуті показники якості коксу і

шихти. Множинний коефіцієнт кореляції для отриманих рівнянь, відповідно, склав 0,95; 0,85 і 0,99.

Висока вологість шихти і суттєві її коливання найбільш сильно впливають на властивості міцності коксу. Шихта повинна надходити в вуглепідготовчі цехи коксохімічних підприємств з вмістом води не вище 6-7% або необхідно вживати заходів до її сушіння на коксохімічних підприємствах. В даний час на КХП ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" у відповідності з технічними умовами приймають вугільні концентрати з вологістю до 13%, що значно знижує якість виробленого доменного коксу.

ВИСНОВКИ

1. Спільне застосування трамбування шихти і сухого гасіння дозволяють отримати кокс з більш високими міцностними характеристиками, що відповідають вимогам ведення доменного процесу із застосуванням ПВП.

2. Введення в шихту **отощающих** добавок (коксівий дріб'язок, пил УСТК і УБВК), з одного боку, дозволяє розширити сировинну базу коксування, а з іншого - утилізувати згадані продукти.

3. Введення добавок в певних кількостях (в більшості випадків - до 1% від маси шихти) дозволяє впливати на процеси, що протікають на стадії пластичного стану, для поліпшення характеристик міцності властивостей коксу і збільшення виходу його великих класів, що особливо актуально при виробництві ливарного коксу.

4. Необхідно враховувати, що застосування деяких із запропонованих добавок існує низка складнощів як економічного, так і технічного характеру. Дуже суттєва і проблема їх введення в шихту, яка до сих пір, незважаючи на пропоновані змішувальні пристрої та технології, не має оптимального рішення.

5. Пошук порівняно дешевих і ефективних неспікливих добавок в шихту для коксування, що дозволяють отримувати кокс високої якості, є одним із пріоритетних науково-технічних напрямів.

6. Проведено аналіз роботи коксових печей з різними методами завантаження вугільної шихти і гасіння коксу, дані рекомендації про найбільш підходящому варіанті для будівництва сучасної коксової батареї, що працює за новою технологією і дозволяє виробляти кокс підвищеної якості, що задовольняє основним вимогам для застосування ПВП в доменному виробництві, оскільки пічний фонд вже морально і фізично застарів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Химическая технология твердых горючих ископаемых: учебник для вузов / под ред. Харламкович Г.Д. М: Химия. 1986. 496 с.
2. Глуценко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: учебник для вузов. М.: Металлургия. 1990. 296 с.
3. Ярошенко Ю.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии: учеб. пособие. Екатеринбург: ООО «УИПЦ» 2012. 670 с.
4. Ярошевский С.Л. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины / Познание процессов доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 2006. С. 366-378.
5. Прогноз горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса / Е.А. Буланов, В.Н. Зайнутдинов, В.Я Кузнецов, Л.А. Зиновьева // Кокс и химия. 2005. №5. С. 23-26.
6. Взаимосвязь реакционноспособных свойств кокса с петрографическими показателями угольной шихты и параметрами коксования / А.Е. Базегский, А.Д.Рябиченко, И.А. Кудашкин, А. С. Станкевич / Кокс и химия. 2001. №7. С. 15-19.
7. Модель прогноза качественных характеристик металлургического кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и параметров коксования / А.Е. Базегский, А.Д. Рябиченко, Ф.З. Хамидулин, Б.Ф. Пьянов, А. С. Станкевич / Кокс и химия. 2002. №9. С. 15-22.
8. Модель прогноза показателей CSR и CRI кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и условий их коксования / А. С. Станкевич, Р.Р. Гиллязетдинов, Н.К. Попова, Д.А. Кошмаров / Кокс и химия. 2008. №9. С. 37-44.
9. Мирошниченко Д.В., Улановский М.Л. Реакционная способность кокса: способы измерения и факторы влияния (Обзор) / Кокс и химия. 2004. №5. С. 21-31.
10. Улановский М.Л., Мирошниченко Д.В. Влияние минеральных компонентов

- углей на качество кокса по показателям CRI и CSR / Кокс и химия. 2007. №4. С. 19-24.
11. Улановский М.И., Мирошниченко Д.В. Сера углей и ее влияние на качество и расход кокса в доменной печи / Кокс и химия. 2008. №2. С. 24-30.
12. Мирошниченко Д.В. Использование показателей физических свойств золы углей для предварительной оценки CRI та CSR кокса / Кокс и химия. 2008. №11. С. 29-33.
13. Улановский М.Л. К выбору параметров оптимизации качества кокса по показателям CRI та CSR / Кокс и химия. 2009. №1. С. 12-16.
14. Золотухин Ю.А., Андрейчиков Н.С., Куколев Я.Б. Требования к качеству кокса для доменных печей, работающих с различным удельным расходом пылеугольного топлива / Кокс и химия. 2009. № 3. С. 25-31.
15. Рыщенко А.И., Шульга И.В., Мирошниченко Д.В., Шмалько В.М. Влияние свойств углей на реакционную способность и послереакционную прочность кокса / Углекимический журнал. 2009. № 5-6. С. 17-22.
16. Давидзон О.Р. Наукове обґрунтування раціонального використання низько відновленого вугілля Донбасу для виробництва високоякісного коксу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.07 «Хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів» / Олексій Романович Давидзон. Харків: УХІН, 2008. 20 с.
17. Русьянова Н.Д. Углекимия. М.: Наука, 2000. 316 с.
18. Донской Д.Ф., Скляр М.Г. Оценка нефтяных спекающих добавок как компонента угольной шихты для коксования / Кокс и химия. 1993. № 2. С. 7-9.
19. Гладун Т.Г., Гагарин С.Г., Нешин Ю.И., Фомин А.П. О формировании физико-химических и спекающихся свойств нефтяных добавок / Кокс и химия. 1994. № 5. С. 16-20.
20. Трифанов В.Н., Горшков П.Г., Беяничев А.Н. Особенности производства кокса из угольной шихты с участием органических добавок / Кокс и химия. 2007. № 6. С. 23-31.
21. Луазон Р., Фош П., Буайе А. Кокс: пер. с франц. М.: Metallургия, 1975. -

520 с.

22. Кузниченко В.М., Лобов А.А., Малько Н.И., Соловьев М.А. Влияние коксовой мелочи на свойства шихт для трамбования / Углекимический журнал. 2006. № 1-2. С. 11-13.
23. Кузниченко В.М. Влияние пыли УСТК и УБВК на трамбуемость шихты / Углекимический журнал. 2011. №5-6. С. 39-42.
24. Соловйов М.О. Розробка та впровадження методу визначення спікливості та спікливої здатності ущільненого трамбуванням вугілля та шихт для коксування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.07 «Хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів» / Михайло Олексійович Соловйов. - Харків: УХІН, 2008. - 20 с.
25. Шмалько В.М., Соловьев М.А. Исследование спекаемости и спекающей способности уплотненных углей и шихт / Кокс химия. 2009. № 3. С. 14-20.
26. Соловьев М.А., Шмалько В.М. Влияние различных факторов на спекаемость и спекающую способность углей разной степени метаморфизма / Углекимический журнал. 2009. № 3-4. С. 19-24.
27. Тихов С.Д., Березин А.В., Нагибин П.Д. Коксовая пыль как компонент угольной шихты / Кокс и химия. 2004. № 2. С. 10-13.
28. Швед В.С., Березин А.В. Коксовая пыль как компонент угольной шихты / Кокс и химия. 2009. № 5. С. 19-21.
29. Страхов В.М., Ушаков Е.Б., Берестова И.В. Получение литейного кокса улучшенного качества из шихты с участием пыли УСТК / Кокс и химия. 1991. № 7. С. 14-17.
30. Страхов В.М., Унтербергер О.Г., Кочкин В.В. Получение литейного кокса из угольной шихты с участием пыли УСТК / Кокс и химия. 1994. № 11. С. 14-17.
31. Угай М.Ю., Школлер М.Б., Русьянова Н.Д., Щипко М.Л. Влияние добавок пыли УСТК и пиритного шлама на пиролиз газового угля / Кокс и химия. - 1991. № 11. С. 4-6.
32. Школлер М.Б. Катализ спекаемости углей / Кокс и химия. 2007. № 6. С. 2-9.
33. Коксование угля в присутствии неорганических добавок. Hague R.

- Carbonization of coals in the presence of inorganic additives. «Miner. Eng. Soc. Techn. Mag.», 1969, 33-46 [Пер. с англ. А.А. Агроскин] // РЖХ. 1971. 7П57.
34. Климовицкая А.Б., Бородин Г.Е., Пивень Г.И. Угольные шихты для коксования и добавки к ним (Обзор) / Кокс и химия. 1989. № 6. С. 9-11.
35. Ramon A., Menendez R., Marsh H. Improving coke strength by co-carbonization of aluminium with high volatile Spanish coal / Fuel. 1989. Vol. 68. № 10. P. 1325-1329.
36. Патент України № 68102 А, МПК С10В 57/00. Шихта для одержання металургійного коксу / Єгорова А.К., Клименко Ф.К., Сорокін Є.Л.; заявник та власник патенту Єгорова А.К., Клименко Ф.К., Сорокін Є.Л. - № 2003109054; заявл. 06.10.2003; опубл. 15.07.2004, бюл. № 7.
37. Исхаков Х.А., Прилепская Л.Л., Овечкина Л.Е. Влияние минеральных примесей и добавок на спекаемость углей / Химия твердого топлива. 1971. № 3. С. 122-125.
38. Цикарев Д.А. Влияние добавок минералов в угольные шихты на свойства доменного кокса / Кокс и химия. 1993. № 4. С. 30-32.
39. Барнаков Ч.Н., Хохлова Г.П., Исмагилов З.Р. Влияние степени графитации и присутствия Fe, Ni, Al, Si на реакционную устойчивость углеродных материалов к действию CO₂ / Химия твердого топлива. 2012. № 6. С. 29-35.
40. Сысков К.И. Теоретические основы оценки и улучшения качества кокса. М.: Metallurgy. 1984. 184 с.
41. Гофман М.В. Прикладная химия твердого топлива. М.: Metallurgizdat, 1963. 597 с.
42. Агроскин А.А., Шелков А.К. Расширение угольной базы коксования. М.: Metallurgy, 1962. 302 с.
43. Гайниева Г.Р. Влияние свойств шихты, условий ее подготовки и коксования на технологические характеристики кокса / Кокс и химия. 2008. №10. С. 8-13.
44. Бронников В.К., Эйдельман Е.Я. Влияние влажности шихты на физико-механические свойства кокса / Кокс и химия. 1973. №10. С. 12-15.
45. Влияние глубокой сушки угольной шихты на производительность коксовых

- печей // В.Г. Зашквара, А.Г. Дюканов, В.Н. Семисалова и др. // Кокс и химия. 1969. №3. С. 19-23.
46. Результаты исследований по коксованию подсушенных шихт донецких углей / В.Г. Зашквара, Ю.Б. Тютюнников, С.Е. Сениченко и др. // Кокс и химия. 1966. №7. С. 10-12.
47. Житов Б.Н., Макаров Г.Н., Дворин С.С. Коксование предварительно нагретых угольных шихт // Кокс и химия. 1964. №2. С. 16-23.
48. Борсук В.И., Ковалевская М.М., Эйдельман Е.Я. Влияние влажности шихты на качество кокса / Кокс и химия. 1971. №4. С. 20-24.
49. Лялюк В.С. Вопросы экономики сушки донецких углей / Кокс и химия. 1966. №8. С. 57-60.