

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Савенко Марини Євгеніївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Вивчення впливу технологічних чинників підготовки
вугільної шихти та її коксування на термомеханічні
властивості шихти

(повна назва теми)

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

(повна назва бази дослідження)

Науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)

Десна Н.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № ____

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Наук. ступінь, вчене звання Ініціали, прізвище

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

Рівень вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис)

« _____ » _____ 20__ року

доцент, к.т.н.
 Шмельцер К.О.
 (посада, вчене звання,
 прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Савенко Марина Євгеніївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її коксування на термомеханічні властивості шихти

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2024

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

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

4.1 Аналітична частина: Світовий досвід прогнозування якості коксу та математичне модулювання властивостей вугільних шихт в різних країнах. Огляд властивостей вугільних шихт, на яких базуються методи прогнозу якості коксу. Впровадження автоматичних систем розрахунків і контролю технологічного процесу і властивостей сировини і готової продукції.

4.2 Основна частина: Вивчення впливу технологічних процесів на властивості коксу з різним складом вугільних шихт в лабораторних умовах. Дослідження впливу різного способу підготовки вугільних шихт і їх завантаження при зміні складу і властивостей вугільних шихт в дослідно-промислових умовах. Математична і статистична обробка результатів роботи підприємства з різним рівнем подрібнення вугільних шихт, способів його підготовки та завантаження в камеру коксування на якість коксу.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 1. | Аналітична частина | 12.05.26 | |
| 2. | Основна частина | 26.05.26 | |
| 3. | Оформлення пояснювальної записки | 29.05.26 | |
| 4. | Подання роботи до кафедри | 01.06.2026 | |
| 5. | Захист роботи в ЕК | 17.06.2026 | |

Здобувач

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Савенко М.Е. Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її коксування на термомеханічні властивості шихти. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

У бакалаврській роботі розглянуто питання прогнозування якості металургійного коксу та оптимізації складу вугільних шихт на основі сучасних підходів до моделювання властивостей вугілля і коксу. Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення доменного виробництва високоякісним коксом при одночасному зниженні виробничих витрат та раціональному використанні вугільної сировини.

У роботі проаналізовано роль вуглецевих матеріалів у металургійних процесах, розглянуто основні фактори, що впливають на якість коксу, а також особливості формування вугільних шихт. Значну увагу приділено розвитку моделей прогнозування якості коксу, які базуються на врахуванні петрографічних характеристик вугілля, його реологічних властивостей та показників міцності коксу. Показано, що використання математичного моделювання сприяє більш точному прогнозуванню якості коксу та підвищенню ефективності виробництва.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні доцільності застосування сучасних моделей прогнозування для вибору вугільної сировини, формування оптимальних шихт та покращення техніко-економічних показників коксохімічних підприємств.

Ключові слова: коксування, вугільна шихта, металургійний кокс, прогнозування якості коксу, математичне моделювання, вуглецеві матеріали, петрографічні характеристики, реологічні властивості, оптимізація шихти, доменне виробництво.

ЗМІСТ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 9 |
| 1.1 Розвиток прогнозування якості коксу в світі | 9 |
| 1.2 Глобальні моделі – прогнозування CSR | 13 |
| 1.3 Оновлення, нейронні мережі та оптимізація | 17 |
| 1.3.1 Застосування нейронних мереж | 18 |
| 1.3.2 Моделі оптимізації | 20 |
| 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА | 26 |
| 2.1 Перевірка у дослідно-промислових умовах розроблених раціональних схем підготовки та рівня подрібнення планових та оптимізованих шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2. | 41 |
| 2.2 Аналіз впливу коливання якісних показників шихти на якість коксу | 48 |
| ВИСНОВКИ | 70 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 71 |

ВСТУП

Робота доменних печей з вдуванням вугілля/природного газу вимагає високої якості коксу. Для найнижчої вартості коксу при збереженні необхідної якості коксу, вибір вугілля та рецептура суміші є дуже важливим питанням. Широко використовуваним інструментом для розробки суміші є моделювання, якому передують характеристика вугілля та слідує випробування пілотної печі.

Вуглецеві матеріали відіграють незамінну роль у металургійних процесах завдяки своїм унікальним характеристикам, підкреслюючи їхнє виняткове становище в металургії та демонструючи їхню неперевершену цінність через їхні відмінні властивості. Залежно від металургійного процесу, в якому використовується вуглецевий матеріал, такого як вугілля, кокс, біомаса або інші вуглецеві біоматеріали, вони виконують такі функції, як паливо, відновник [1, 2] підтримка структури шихти, а також підтримка проникності скелета та ефективності дренажу (серед усіх вуглецевих матеріалів лише кокс), діють як фільтр для сажі та пилу та джерело вуглецю, а також сприяють таким процесам, як цементация [3], постачання хімічної енергії [4] та джерело для отримання відновлювальних газів та хімікатів.

В основному, три типи вуглецевих матеріалів використовуються як джерело вуглецю [5–7] для спінювання шлаку в електродугових печах (ДДП): антрацит, металургійний кокс та зелений нафтовий кокс, іноді доповнений прожареним нафтовим коксом (КНК). Щоб зменшити залежність від викопних та похідних від викопних вуглецевих матеріалів, дослідники досліджували спінювання шлаку з використанням альтернативних джерел вуглецю. Акцент зміщується переважно на біовугілля або суміш біовугілля та коксу [4,8]. Це можна додатково пояснити тим фактом, що біомаса вважається CO_2 -нейтральною. Тому CO_2 з твердих продуктів піролізу біомаси не сприяє викидам парникових газів [9], коли його використовують у термічних процесах.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Розвиток прогнозування якості коксу в світі

До середини шістдесятих років морська торгівля вугіллям була невеликою, переважно з Північної Америки до Європи та Азії. У той же час більша частина коксівного вугілля, що споживалося в Європі та Північній Америці, надходила з вітчизняних шахт. Навіть Японія мала місцеві джерела [1]. У цьому контексті розроблені моделі були переважно локальними/регіональними, заснованими на особливостях місцевого вугілля. Ми коротко обговоримо моделі, розроблені в Північній Америці, Німеччині, Австралії та Південній Африці.

Північна Америка

Найважливішою моделювальною роботою були роботи Шапіро та Грея [2-3] у US Steel. Він базувався на петрографії для визначення стабільності коксу при використанні вугілля Аппалачів (схід США). Мацерали були розділені на активні та інертні. Активні мацерали, що враховувалися, включали вітриніт, екзініт та одну третину семіфюзініту, тоді як інертні мацерали включали інертиніт, мінеральну речовину та дві третини семіфюзініту. Вони використовували рефлектограму загальних реактивних речовин, що розглядаються як вітриніт, класифікований у 21 групу (від V1 до V21).

Індекс балансу складу (СВІ) розраховується як функція загальної кількості інертних речовин та суми оптимального співвідношення між реактивними та інертними речовинами (R/I), заданого кожним типом вітриніту, згідно з експериментальною кривою. Індекс міцності (SI) визначається як функція загальної кількості реактивних речовин, загальної кількості інертних речовин та суми коефіцієнтів міцності, що вносяться кожним типом вітриніту, відповідно до експериментальної кривої.

Використовуючи графік з кривими ізостабільності, визначається стабільність коксу з урахуванням отриманих значень СВІ та SI (рис. 1.1).

Основна концепція цієї моделі, що пов'язує петрографію вугілля з якістю коксу, полягала в тому, щоб мати довготривалий вплив на прогнозування якості коксу. З'явилися й інші моделі: Геологічна служба штату Іллінойс запропонувала модель для вугілля Іллінойсу за аналогічною системою, але змінивши криві для розрахунку CBI та SI [4]. Вугільнодобувна компанія Consol розробила модель, яку вважають синтезом двох попередніх концепцій. Вона використовує різні криві для розрахунку індексу інертності (II), подібного до CBI та SI [3]. Бенедикт з Bethlehem Steel побудував модель для вугілля Східного Кентуккі. Він додав сейдовітриніт до мацералів, розглянутих Шапіро та Гресем. Прогноз стабільності коксу здійснюється залежно від ефективних інертних речовин та відбивної здатності вітриніту [2-3].

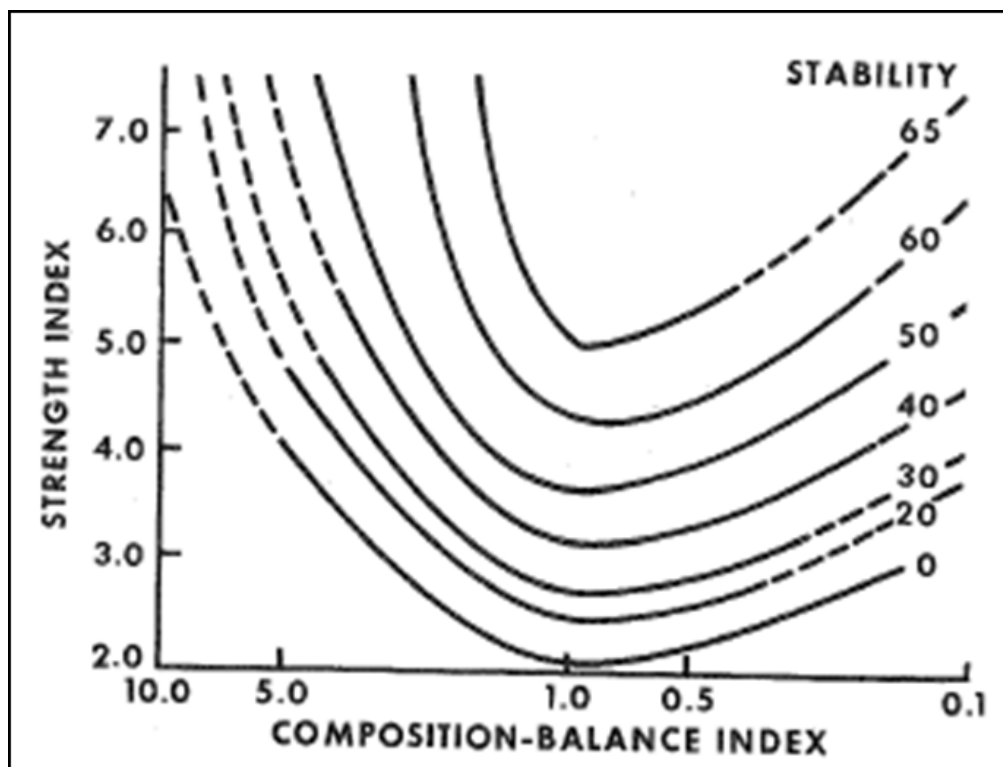


Рисунок 1.1. Модель Шапіро-Грея для US Steel.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Пізніше, у 1977 році, Кегі з Inland Steel склав розрахунок для вугілля з Іллінойсу, Індіани, Західної Вірджинії, Алабами, Кентуккі, Пенсільванії та Меріленду. Він включив сейдовітриніт, макриніт, сейдомакриніт та оксидівітриніт. Ті ж криві, розроблені Консолом, використовуються для розрахунку II та SI [3].

Тим часом, деякі канадські дослідження запропонували модифікації моделі Шапіро-Грея з урахуванням специфічних особливостей місцевого вугілля. Більшість вугілля західного узбережжя Канади мають більший вміст семіфюзініту, ніж у схемі Шапіро-Грея, а розрахована стабільність була нижчою за виміряну. Дослідження Карра та Йоргенсена дійшли висновку, що прогноз якості відповідає, якщо одна половина семіфюзініту вважається реакційноздатною, а інша половина - інертною, для вугілля з 20% або більше семіфюзініту [7-8]. Лідер та Прайс з CANMET зробили важливий крок вперед, включивши реологію вугілля до схеми прогнозування [7]. Їхній графік базувався на результатах 180 випробувань коксових печей, див. рисунок 1.2.

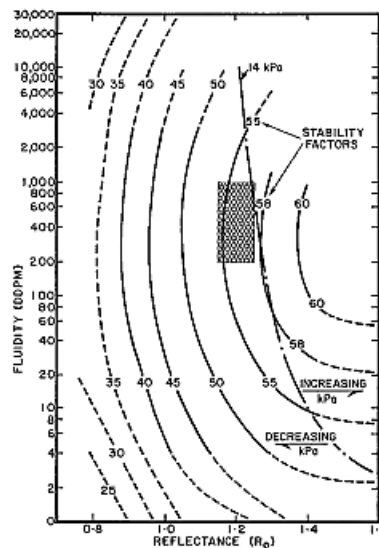


Рис. 1.2. Графік прогнозування стабільності коксу на основі відбивної здатності та реології вугілля, враховуючи результати 180 випробувань у пілотній коксовій печі, CANMET

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Німеччина

Маковкі та Сімоніс [6,7] розробили до 1969 року розрахунок, заснований на випробуванні на дилатацію в Рурі, підготовці вугілля та умовах експлуатації. У їхньому випадку індексом для вираження стійкості до тріщиноутворення був Місум 40 (M40), а міцність на стирання Місум 10 (M10), як це зазвичай буває в

Європі. Було розглянуто вугілля та суміші Рурського басейну [4]. Було використано наступний вираз:

$$M_{40} = aK + b + Ms\delta \quad (1)$$

Де b – функція летких речовин, Ms – сума позитивних та негативних відхилень від оптимального розміру зерна es , K – функція робочих умов (об'ємна густина, швидкість коксування, ширина печі), а $a\delta$ – константи, що залежать від летких речовин та коефіцієнта G . Коефіцієнт G розраховується на основі даних випробування на дилатацію Рура: температура розм'якшення ($T1$), температура повторного затвердіння ($T3$), % максимального стиснення (C) та % максимального розширення (D). Цей коефіцієнт G дорівнює вважається добавкою для сумішей.

$$\text{Factor } G = \frac{T1 + T3}{2} \times \frac{C + D}{DT1 + CT3}$$

Цей розрахунок застосовується до сумішей з 18-35% летких речовин та вмістом інертних речовин нижче 20%.

Австралія

Модель для австралійського вугілля була розроблена в 1964 році Брауном, Тейлором та Куком [5]. Розрахунок враховує ранг вугілля (відбивну здатність) та петрографію. В австралійському вугіллі семіфюзиніт не поводитья як частково реакційноздатний; тому його включають до інших мацералів групи інертинітів, що відносяться до інертних речовин. Крім того, більша частина інертиніту тісно пов'язана з вітринітом. Як наслідок, щільний кокс утворюється внаслідок спільної дії цих двох мацералів, а не так, ніби вони є окремими компонентами, як у коксівному вугіллі США. Це вугілля, згідно зі стандартами Північної півкулі, не повинно виробляти міцний кокс; тим не менш, воно здатне давати якість коксу, достатню для великих доменних печей.

Південна Африка

Штайн та Сміт розробили схему прогнозування в ISCOR наприкінці сімдесятих років, використовуючи петрографічні дані для розрахунку M_{40} та M_{10} [9]. Багато південноафриканських вугілля мають низький вміст вітриніту та високий вміст семіфюзиніту та мікриніту. У сумішах значення можуть бути дещо

схожими, наприклад, 40% вітриніту та 45% семіфюзиніту плюс мікриніт. Вони змогли продемонструвати, що отриманий кокс має вищої якості, ніж кокс, вироблений з вугілля з високим вмістом вітриніту. Згідно з їхніми висновками, інертний та реактивний семіфюзиніт розподілені в змінних пропорціях, враховуючи дві кореляції: як функцію % вітриніту, % летких речовин та максимального середнього відбиття вітриніту. Індекс балансу складу (СВІ) визначається як у моделі Шапіро-Грея. Максимальна відбивна здатність середовища для реактивних мацерал (індекс RoR) розраховується як функція максимальної відбивної здатності середовища вітриніту, % вітриніту, % екзініту, % реактивного семіфюзиніту та загального % реактивних мацерал. M40 та M10 визначаються за допомогою сімейства кривих ізорезистентності, залежно від СВІ та індексу RoR, рис. 1.4.

Цей перший етап демонструє сильний вплив петрографічної моделі Шапіро та Грея, яка береться за основу багатьма іншими дослідниками. Німецька робота додає вплив робочих змінних. Відображаючи внутрішнє постачання вугілля, більшість моделей цього віку враховують специфічні особливості досліджуваного вугілля.

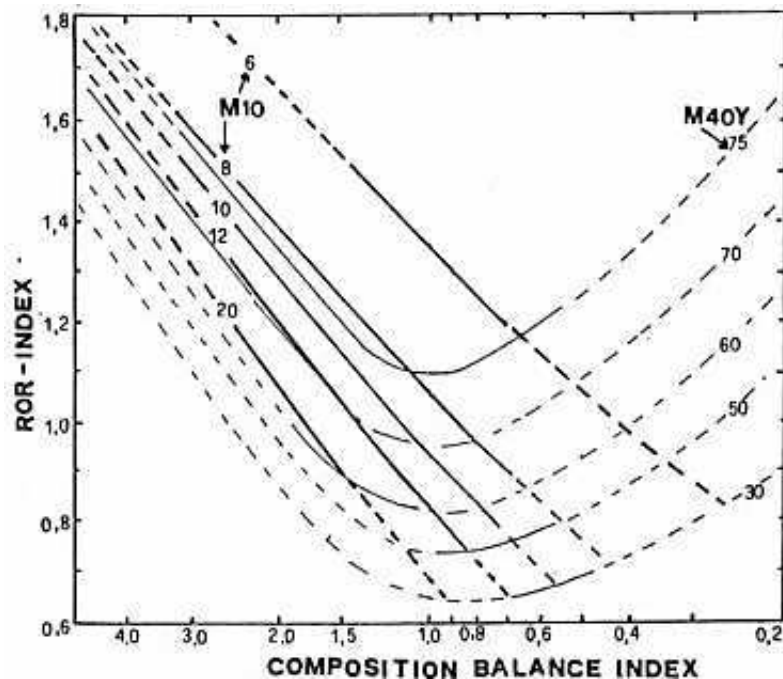


Рисунок 1.4. Криві ізорезистентності для південноафриканського вугілля

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

1.2 Глобальні моделі – прогнозування CSR

У наступний період (кінець сімдесятих, вісімдесяті роки) спостерігалось зростання міжнародної торгівлі вугіллям. Нові заводи були побудовані в Азії та Південній Америці, в країнах, де немає вугільних ресурсів. Японія збільшила імпорт з Австралії та Канади.

Європейські вугільні шахти почали закриватися раніше через високу собівартість виробництва порівняно з імпортом. Нижчий попит з боку вітчизняних заводів у США на початку вісімдесятих років спонукав до експорту до Японії та Європи. РСІ почали впроваджувати в доменних печах, що одночасно призвело до меншого споживання коксу, але вимагало коксу вищої якості [1].

У цьому контексті було розроблено більше глобальних моделей прогнозування якості коксу в Японії та Європі, включаючи вугілля зі США, Канади, Австралії, Південної Африки тощо. Почали враховуватися більше змінних характеристик вугілля, зокрема реологія.

Окрім того, виник інтерес до поведінки коксу в доменній печі, що вимагало прогнозування ключових властивостей коксу, таких як CSR та CRI.

Однією з популярних моделей того часу була так звана діаграма MOF, яка має назву від Міядзу, Окуями та Фукуями з тодішнього НКК, включаючи вугілля зі США, Австралії, Канади та Японії. Критерій полягає в тому, що суміші з 1,2-1,3 вітринітом та 200-1000 діджеїв на хвилину максимальної плинності можуть утворювати кокс з холодною міцністю $DI\ 30/15 > 92\%$ [8], див. рисунок 1.5.

Сакава та інші з Nippon Steel Corporation працювали над модифікаціями графіка Шапіро-Грея до 1987 року. Лінії ізоопору представлені в одиницях $DI30/15$ та $DI150/15$. Корекції CBI та SI з максимальною плинністю суміші вносяться, коли включено австралійське та канадське вугілля [11], див. рисунок 1.6.

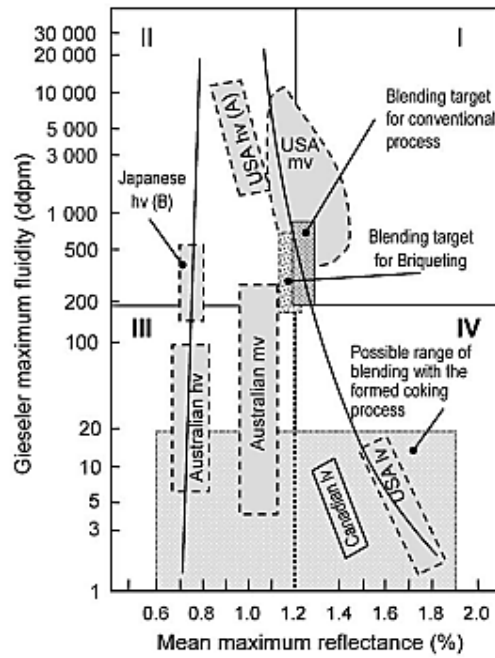


Рисунок 1.5. Діаграма MOF з метою змішування для звичайного процесу (та іншими цілями для брикетування та формування коксу).

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

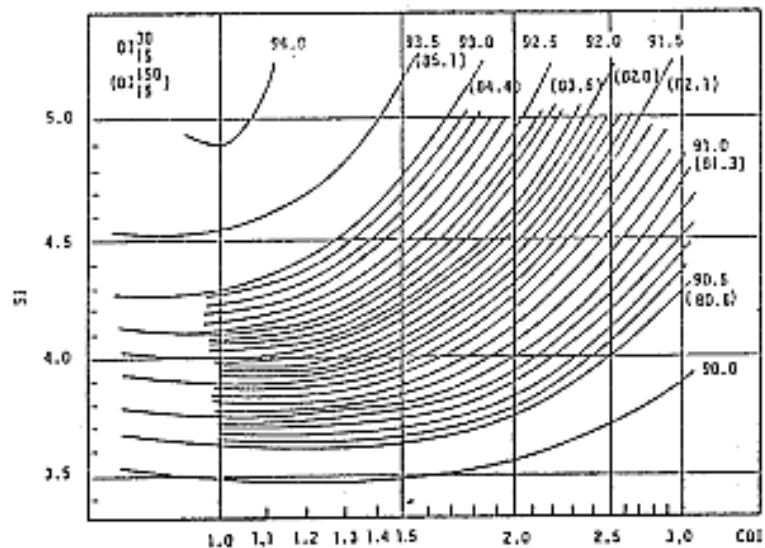


Рисунок 1.6. Графік NSC для прогнозування DI30/15 та DI150/15.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Дуже цікаву модельну роботу представив Р. Маннікс (CRM) у 1984 році, використовуючи вугілля з Америки, Австралії, Африки та Європи. В основі цієї

концепції лежать інертний вміст, так званий індекс реактивного коксування та максимальна плинність [12].

Загальний інертний вміст (ТІС) включає - семіфюзиніт, інертиніт, інертні вітриніти ($R_o > 1,8$) та мінеральні речовини. Вміст реактивних речовин включає реактивні вітриніти ($R_o < 1,8$), екзініт та - семіфюзиніт. Реактивний індекс коксування (RCI) є функцією відбиття типів вітриніту, що вносяться кожним вугіллям у суміш, с так званий індекс коксування вітриніту, значення якого зростає від 0,25 до 1; Нижчі значення (від 0,25 до 0,4) належать до високолеткого вугілля, а вищі значення (0,8 - 1) до низьколеткого.

Максимальна плинність враховується як логарифм ($mf + 1$), так званий LGF, для включення інертних компонентів до суміші (антрацит, нафтовий кокс). Вихідні дані виражаються у вигляді індексів холодної міцності M40, M10, I40, I20 та I10. Використовуються поліномні функції третього ступеню ТІС, RCI та LGF (рис. 1.7).

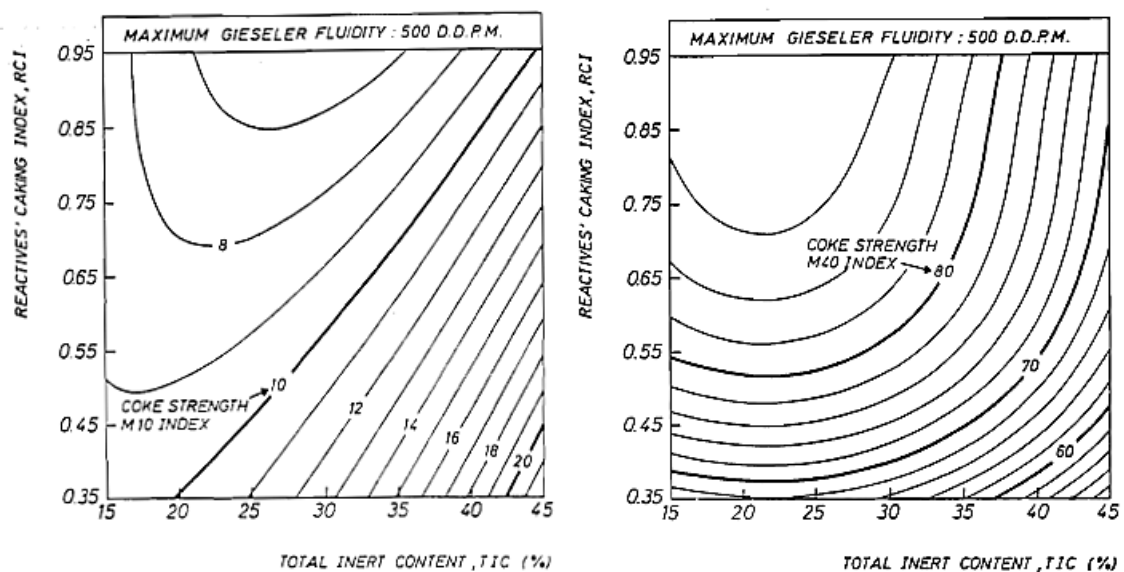


Рисунок 1.7. Ліворуч: прогноз M40; праворуч: прогноз M10.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Ще одна європейська модель того часу була розроблена в Дослідницькому інституті коксу, Велика Британія, Гібсоном та Грегорі [7-8].

В якості експериментальної бази вони використовували суміші імпортованого високо- та низьколеткого вугілля. Враховувалися такі змінні: фактор G, отриманий з дилатаційного тесту; Вміст летких речовин (V) та час коксування до 900°C (T) для печі шириною 450 мм.

M40 розраховується за цим рівнянням:

$$M40 = 103.9 + 24.8G - 1.196 \times 10^{-6} V^5 + 2.57 \frac{V^2}{T} - \frac{88V}{T}$$

Моделі CSR

Прогнозування поведінки коксу в доменній печі стає все більш важливим зі збільшенням розмірів доменних печей та впровадженням вдування пиловугільного палива (PCI). Тільки холодної міцності коксу стало недостатньо. Сталеливарські компанії та інститути розробили моделі прогнозування з урахуванням властивостей вугілля. Основні змінні, що враховуються в деяких із цих моделей, представлені в таблиці 1.1.

З таблиці 1.1 видно, що більшість розрахунків базуються на відбивній здатності та вмісті інертних речовин; максимальній текучості та зольності вугілля лугах.

Таблиця 1.1

Змінні, що враховують різні моделі

| Компанія | Вугілля Петрографія | Реологія вугілля | Зола | Інші | Рік | Пос ила ння |
|---------------|----------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| British Steel | Відбивна здатність вітриніту | | Вміст золи в коксі | | 1977 | 13 |
| NKK | | | | Петрографія коксу | 1978 | 13 |
| Nippon Steel | Максимальна середня відбивна здатність | Максимальна плинність | Індекс лугів золи вугілля | | 1980 | 13 |
| BCRA | Інертиніт % | Максимальна плинність | Вміст лугів вугілля | Вміст кисню та вуглецю; пор/см ² коксу | 1982 | 13 |

Продовження таблиці 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|------|----|
| Kobe Steel | Максимальна середня відбивна здатність | Максимальна плинність | Вміст лугів золи вугілля | | 1985 | 13 |
| CANMET | Максимальна середня відбивна здатність | | Індекс основності модифікованої золи вугілля | Загальна дилатація (розширення) | 1988 | 14 |
| BHP | Вміст інертів | Максимальна плинність | Основність золи вугілля | Леткі речовини | 1989 | 14 |
| Inland Steel | | Пластик діапазон температур | Індекс основності золи вугілля | Сірка вугілля | 1989 | 13 |
| ISCOR | Максимальна відбивна здатність вітринітів; органічні інерти % | Максимальна плинність | Вугільна зола основні оксиди | | 1990 | 8 |

Примітка. Джерело: розроблено автором

1.3 Оновлення, нейронні мережі та оптимізація

З новим століттям процес переробки вугілля та залізної руди збільшився внаслідок зростаючого попиту, а також інтерес до альтернативних вуглецевих матеріалів та процесу використання певної частки слабококсівного вугілля. Моделі довелося оновити, а також були розроблені інструменти оптимізації [17].

Деякі оновлення старих моделей, як згадувалося раніше, дослідники НКК виявили в сімдесятих роках, що максимальна плинність (МП) за Гізелером їхніх коксівних сумішей, що складаються з багатьох міжнародних вугілля, повинна становити щонайменше 200 dd/min для отримання високоміцного коксу. Однак, результати коксування лише із західноканадським вугіллям або в міжнародних сумішах показали, що високоміцний кокс можна виробляти при набагато нижчій МП суміші. Отже, нещодавно було проведено дослідження з різними

міжнародними джерелами вугілля, щоб спробувати розробити більш детальну модель для прогнозування мінімального коефіцієнта навантаження (MT), необхідного для сумішей коксохімічних заводів. Дослідження сумішей канадського або американського вугілля, проведені на сьогодні, показали нижчий мінімальний MT суміші, необхідний для канадського вугілля (20-40 дд/хв) та вищий мінімальний MT суміші для вугілля США (500-700 дд/хв). Пропозиція щодо розрахунку мінімального MT для міжнародної суміші вугілля детально описана в [10].

1.3.1 Застосування нейронних мереж

Цей метод застосовувався майже до всіх етапів виробництва сталі, включаючи коксохімічний завод. У цьому випадку застосування було спрямоване на краще прогнозування КЗР. Tata Steel активно працює в цій галузі [15]. Як приклад, на рисунку 1.8 представлено виміряні значення КЗР порівняно зі значеннями, розрахованими за допомогою нейронної мережі зі зворотним поширенням. Згідно з їхнім досвідом, покращення прогнозів відбулося завдяки збільшенню кількості вхідних даних, застосуванню багатошарової прихованої стратегії та більшій кількості епох для навчальних даних.

Однак, оскільки моделі штучних нейронних мереж (ШНМ) мають погану інтерпретаційну здатність через структуру «чорного ящика», їх часто об'єднують з прозорою та більш інтерпретаційною нечіткою логікою для формування нейронечітких систем виведення. Серед різних нейронечітких моделей, що існують у літературі, адаптивна нейронечітка система виведення (ANFIS) була пізніше обрана дослідниками Tata Steel. На рисунку 1.9 представлено схематичне зображення системи [16].

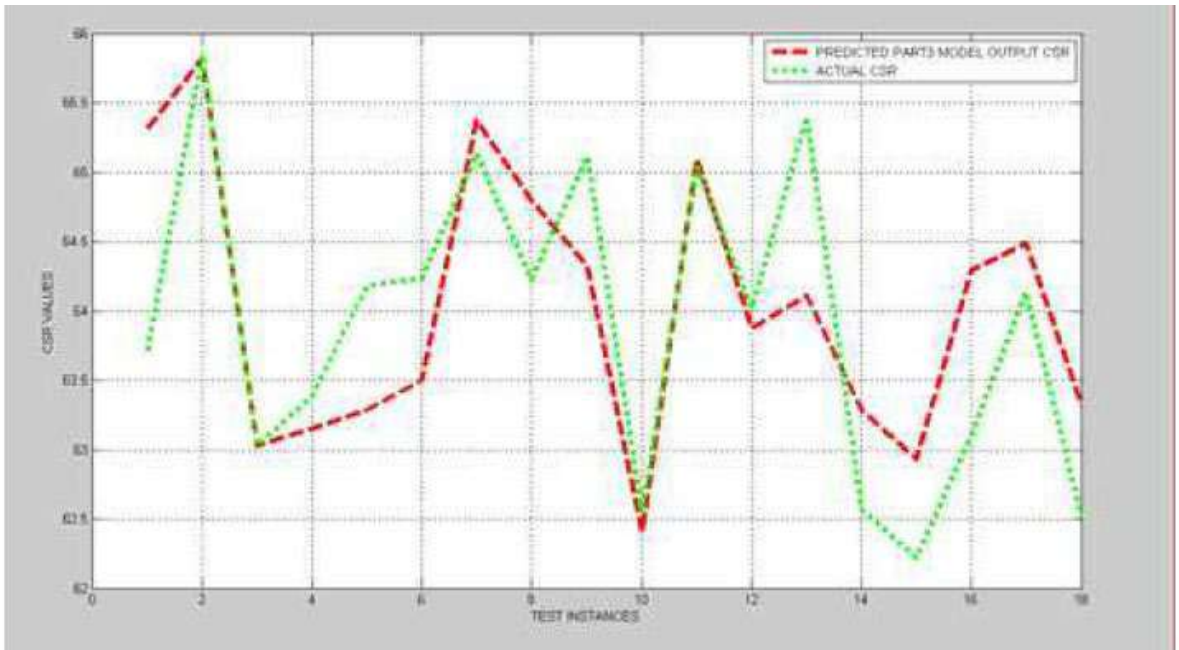


Рисунок 1.8. Порівняння вимірювань та прогнозування CSR за допомогою системи на основі штучної нейронної мережі.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]

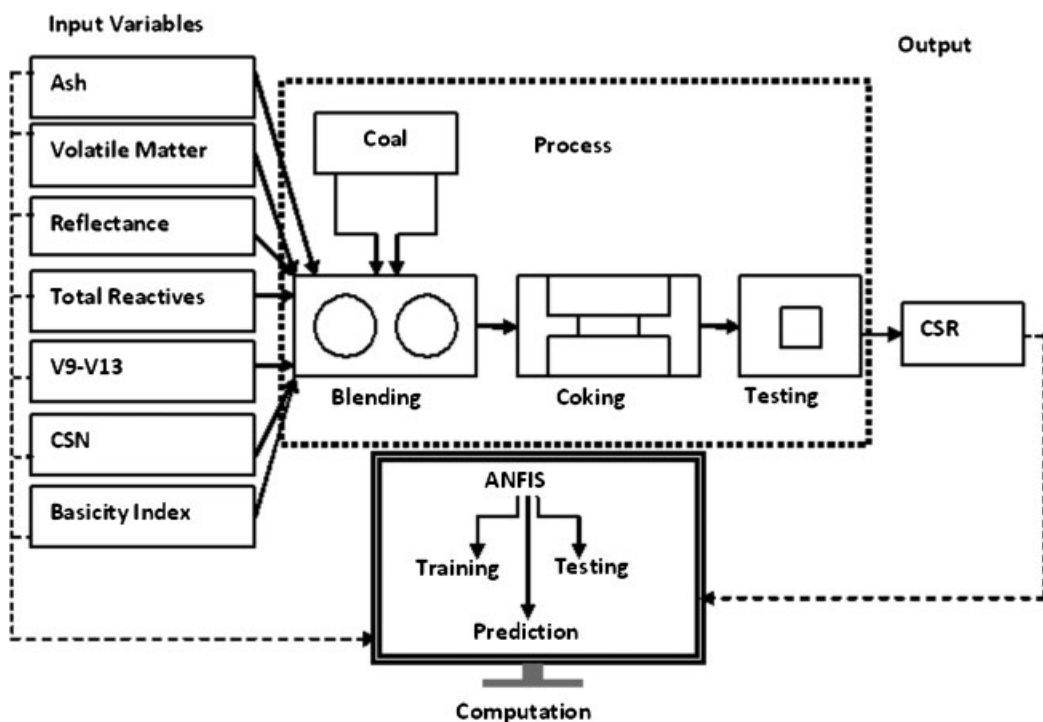


Рисунок 1.9. Схематичне зображення прогнозування властивостей коксу за допомогою моделі ANFIS.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

1.3.2 Моделі оптимізації

Оптимізація собівартості сталі (SCOOP). До 2000 року експерти з операційних досліджень у бельгійському університеті Компанія ersity розпочала проект розробки інструменту оптимізації для сталеливарної промисловості. Потім цей проект перейшов до N-SIDE. SCCOP – це програма, яка об'єднує всі підрозділи сталеливарного заводу на базі доменної печі, включаючи коксохімічний завод, агломераційний завод, доменну піч та сталеливарний завод, для глобальної оптимізації виробничого процесу. Метою є мінімізація собівартості сталі шляхом правильного вибору сировини та адаптації процесу до ринкових умов [17]. Деякі заводи, що використовують цей інструмент, – це ArcelorMittal Dunkirk, Erdemir, NLMK, Severstal, CSN, Gerdau Ouro Branco, Usiminas, ThyssenKrupp CSA.

Для частини, що стосується вугілля та коксу, властивості вугілля є вхідними даними для моделі: остаточний аналіз, реологія, відбивна здатність, вміст реактивних та інертних речовин, CBI, SI тощо. За потреби визначаються нижня та верхня межі для цих властивостей. Вартість та доступність вугілля також є вхідними даними. Властивості вугілля використовуються для прогнозування холодної міцності коксу, а також CRI та CSR. Потім встановлюється мінімальна вартість суміші або коксу, вводячи вихід вугілля на кокс та експлуатаційні витрати [18].

Оптимізація вугільної суміші (CBO). Відомий виробник коксу в горизонтальних печах з рекуперацією тепла, SunCoke, розробив модель для своєї діяльності, використовуючи MATLAB версії 7. Була створена база даних зі 100 видами вугілля, враховуючи 58 даних на кожен вид вугілля: кінцевий аналіз, хімічний склад золи, реологію, петрографію тощо. Крім того, для кожного виду вугілля фіксуються нижні та верхні межі, а також вартість.

Модель спочатку зчитує властивості вугілля, а потім обмеження, розділені на лінійні та нелінійні, останні пов'язані з різними моделями розрахунку. В

результаті СВО отримує найдешевшу суміш п'яти видів вугілля, властивості суміші та прогноз властивостей коксу.

Модель можна запустити, змінюючи обмеження [19].

Оптимізатор вугільної суміші (COBOR). ANT Automation, постачальник автоматизації з США, до якого належить один із авторів, створив іншу оптимізуючу модель, що включає модулі:

- Модуль моделі процесу
- Модуль моделі оптимізації
- Статистичний модуль
- Модуль калібрування

Модель процесу є основою програми та має як вхідні дані доступність вугілля, властивості вугілля та загальні дані. Вихідні дані включають оцінені властивості вугільної суміші та якість коксу, а також ціну на кокс. Модуль оптимізації вимагає обмежень, а його вихідними даними є найменш витратна суміш, очікувані викиди та якість коксу (рис. 1.10).

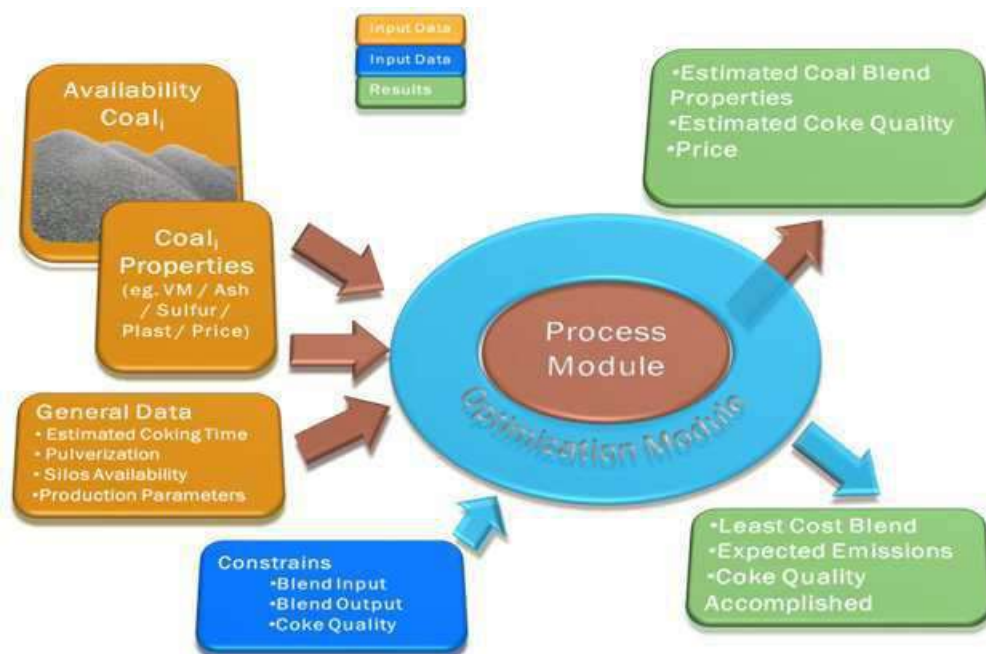


Рисунок 1.10. Блок-схема програми COBOR [20].

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [20]

Метою моделі є не лише оцінка властивостей вугільної суміші та коксу, але й пошук суміші, яка могла б досягти з якістю та виробництвом суміші/коксу, мінімізуючи вартість вугільної суміші до значних рівнів. Це можна розглядати як ціну вугілля на ринку + ціну вугілля, сплачену з урахуванням наявності на вугільному складі, а також ринкових можливостей.

Основну економічну економію в процесі можна отримати з трьох основних джерел:

- Оптимізація вартості вугільної суміші
- Зменшення споживання суміші
- Ці два комбіновані ефекти.

Програмне забезпечення також має особливий акцент на взаємодії з користувачем. Воно спеціально розроблене для мінімізації даних, що вводяться користувачем, та має якомога більше інформації та даних для введення на простому екрані. Інтерфейс базується на HTML5, що робить його адаптивним додатком, який також може працювати на мобільних пристроях. Запуски, виконані різними користувачами, можуть бути спільними або опубліковані групою вибраних користувачів в одній компанії. Підтримується експорт у MS Excel. Іншою важливою особливістю є те, що він містить інтерфейс WebApi, тому розраховані дані можуть використовуватися існуючою програмною платформою на заводах, використовуючи відкриту базу даних MS-SQL, а технології WebApi дозволяють легко використовувати та заповнювати дані, а також створювати власні звіти. Система також може взаємодіяти з існуючими ПЛК за стандартами OPC, таким чином її можна підключити до існуючої системи автоматизації для автоматичного налаштування суміші вугілля шляхом завантаження даних у ПЛК. Див. екран на рисунку 1.11.

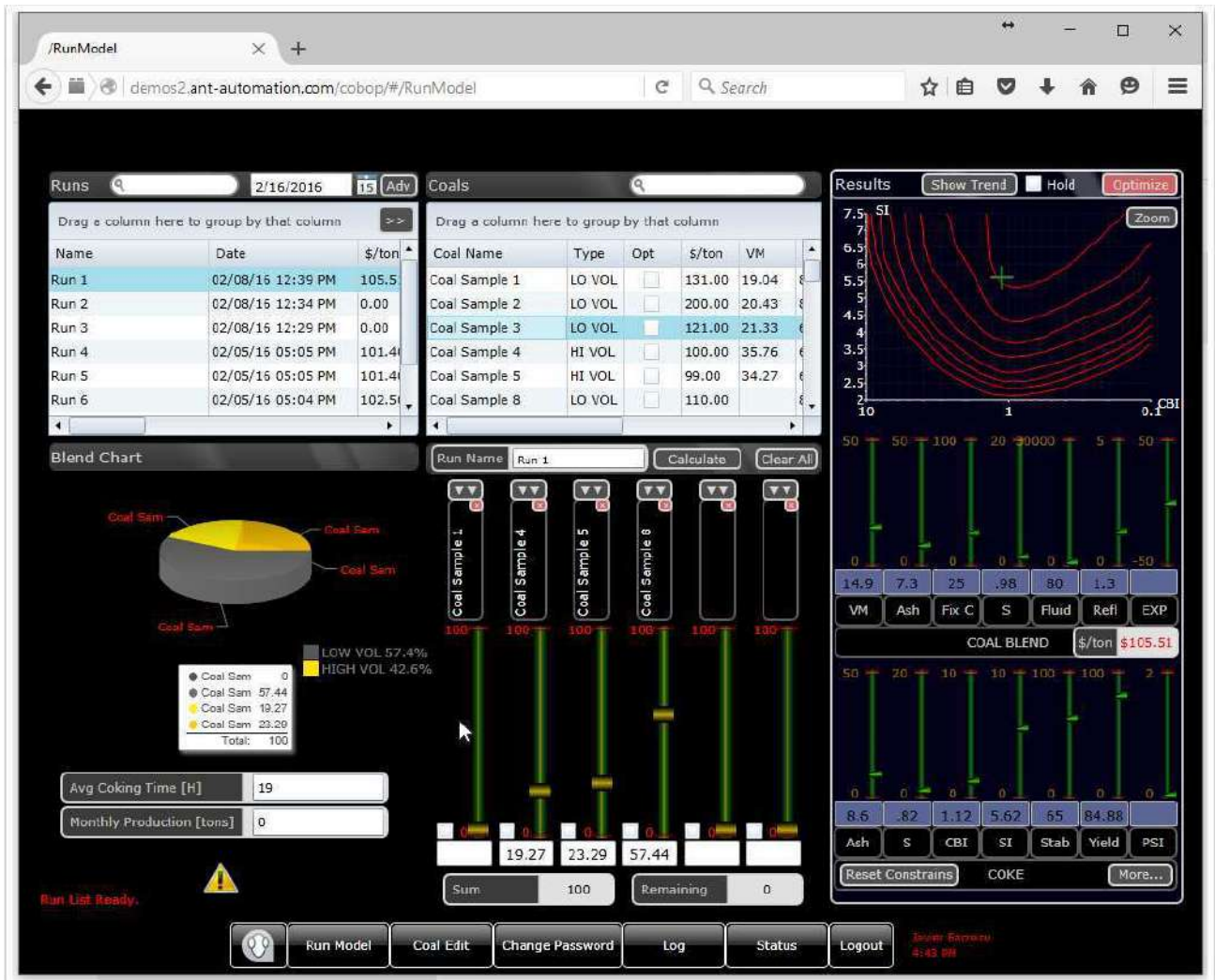


Рисунок 1.11. Головний екран програмного забезпечення СОВОР [20].

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [20]

Система СОВОР дозволяє порівнювати прогони та відображати тенденції. Зменшуючи рухомі параметри в моделі, діаграму стабільності та будь-який інший результат параметра можна порівняти графічно за допомогою HTML-інтерфейсу моделі користувача. Див. екрани на рисунках 12 та 13.

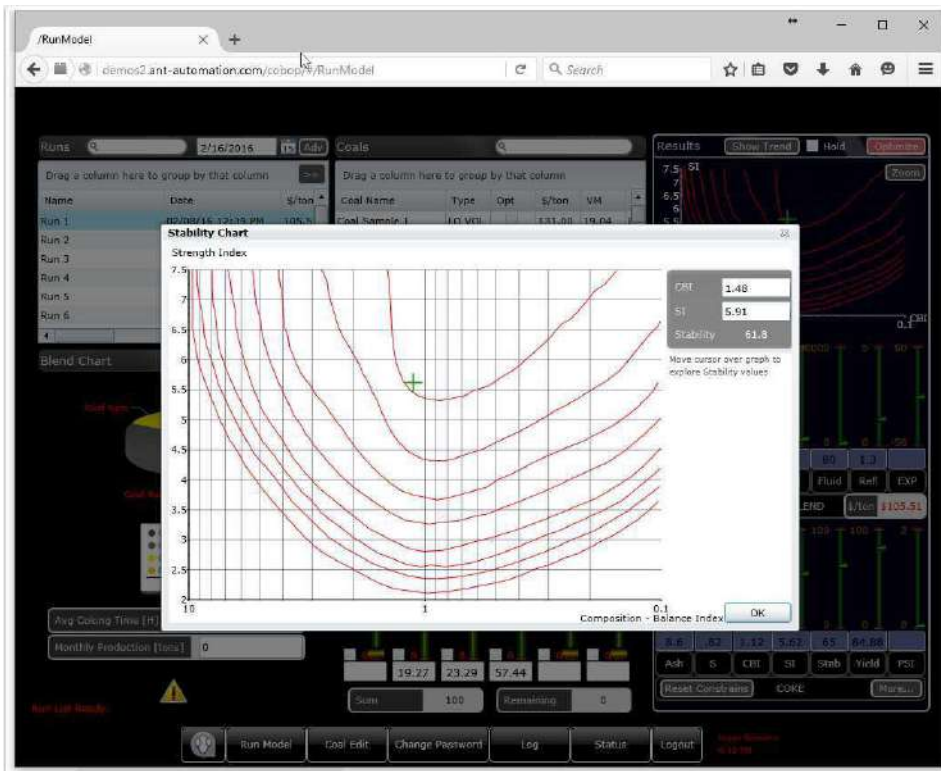


Рисунок 1.12. Діаграма стабільності СОВОР.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [20]



Рисунок 1.13. Тенденції результатів СОВОР – Порівняння між запусками моделей.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [20]

Модель COBOP також містить математичні обчислення з використанням технологій NVIDIA CUDA, які забезпечують оптимізоване програмне забезпечення та апаратне забезпечення для розв'язання складних рівнянь та алгоритмів. Вона має компонентно-орієнтовану архітектуру, яка є основою високої продуктивності та масштабованості. Використання GPU (графічних процесорів) для виконання обчислень у цій моделі оптимізації призводить до пришвидшення часу обробки критично важливих алгоритмів реального часу в 50-100 разів. Використовує спеціальні сервери з підтримкою технології CUDA для переходу від 8 ядер (типова конфігурація сервера) до високопродуктивних 1500 або більше ядер. Як приклад, модель оптимізації, яка працює приблизно 4 хвилини на сервері з процесором Intel® Core™ i7 920 з частотою 2,67 ГГц, працюватиме приблизно за 5 секунд на сервері на базі CUDA.

- 100% веб-додаток – адаптивний до HTML5
- Централізована високопродуктивна база даних
- Результати за лічені секунди, що призводять до економії тисяч доларів
- Швидка консоль для легкого налаштування та запуску.
- Гнучке ліцензування: необмежена кількість конфігурацій зразків вугілля, необмежена кількість симуляцій, необмежена кількість оптимізацій та необмежена кількість користувачів.
- Найважливіші результати розраховуються та відображаються під час введення вхідних параметрів завдяки технології RIA (Rich Internet Application).
- Повна інтеграція з іншими продуктами пакету ANT Industrial Studio: SCADA, MES та REPORTER.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Враховуючи, що більшість моделей прогнозу якісних характеристик коксу беруть до уваги тільки сировинні фактори, було прийнято рішення визначити чи впливають технологічні чинники, а саме технологічні схеми і параметри підготовки вугілля до коксування та технології завантаження на термомеханічні показники якості коксу.

Для проведення коксувань дослідних шихт було відібрано представницькі проби компонентів вугільної сировинної бази ВАТ «Алчевськкокс». Для зазначених проб було визначено технологічні властивості та петрографічні характеристики, які наведені у табл.2.1 та 2.2.

Газове вугілля представлене двома пробами ЦЗФ «Комсомольська», відібраними на складі та з прибуття, однією пробою ЦЗФ «Жовтнева» та однією пробою російського вугілля ОФ ім. Кірова.

Вугілля ЦОФ «Комсомольська» помітно відрізняється від двох інших порівняно низьким виходом летких речовин, високою відбивною здатністю та наявністю у вітринітї значної кількості складових (46-47%) по стадії метаморфізму, що відповідають жирному вугіллі. Це зумовлює їх досить високі спікливість і спікаючу здатність, що фіксуються пластометричним методом та методом Рогу. Концентрат ЦЗФ «Жовтнева» отримано при збагаченні петрографічно неоднорідного вугілля Західного Донбасу і характеризується низькою спікливістю і спікаючою здатністю. Вугілля ОФ ім. Кірова має підвищений вихід летких речовин, низьке значення показника відбиття вітриніту, а за спекливістю і здатністю до спікання займає проміжне положення між вугіллям ЦЗФ «Комсомольська» і ЦЗФ «Жовтнева». Загально все вугілля має низький вміст сірки і близькість значень коефіцієнта розмолоспроможності по Хардгроу. Абсолютна величина цього показника свідчить про високу твердість і важку дробимість вугілля, що розглядається.

Таблиця 2.1

Технологічні показники досліджених концентратів

| Найменування ЗФ, ЦЗФ, розрізу | Марка | Технічний аналіз, % | | | | Пластометричні показники, мм | | Спікаюча здатність | Коефіцієнт |
|-------------------------------------------|-------|---------------------|-----------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----|--------------------|-----------------------------|
| | | A ^d | S _t ^d | V ^d | V ^{daf} | x | y | по Рога, од. | розмолотності за Хардгровом |
| | | | | | | | | RI | HGI |
| ЦЗФ «Комсомольська», (склад) | Г | 6,9 | 1,02 | 34,1 | 36,7 | 42 | 14 | 52 | 58 |
| ЗФ ім. Кірова | Г | 7,8 | 0,31 | 38,8 | 42,0 | 33 | 14 | 43 | 63 |
| ЦЗФ «Октябрьская» | Г | 6,1 | 0,95 | 37,2 | 39,6 | 50 | 10 | 24 | 62 |
| ЦЗФ «Комсомольська» | Г | 6,1 | 1,09 | 34,7 | 37,0 | 41 | 13 | 50 | 58 |
| ЦЗФ «Распадська» | ГЖ | 7,5 | 0,68 | 35,6 | 38,5 | 29 | 20 | 70 | 80 |
| ЦЗФ «Красноліманська» | Ж | 9,3 | 2,37 | 31,0 | 34,2 | 19 | 18 | 70 | 79 |
| ЦЗФ «Держинська» | Ж | 12,2 | 2,48 | 28,1 | 31,9 | 15 | 16 | 65 | 96 |
| ЦЗФ «Дуванская» | Ж | 8,0 | 2,26 | 30,0 | 32,6 | 8 | 20 | 67 | 87 |
| ЦЗФ «Калінінська» | Ж | 7,5 | 1,42 | 29,4 | 31,8 | 13 | 17 | 77 | 87 |
| ЦЗФ «Київська» | Ж | 7,8 | 1,83 | 29,7 | 32,2 | 1 | 25 | 68 | 85 |
| ЦЗФ «Пролітарська» | К | 9,4 | 1,64 | 22,8 | 25,1 | 10 | 16 | 58 | |
| ЦЗФ «Колосніковська» + ЦЗФ «Узловська» | К | 8,0 | 1,76 | 20,8 | 22,6 | 6 | 17 | 66 | |
| ЦЗФ «Узловська» | ПС | 4,7 | 1,03 | 17,5 | 18,4 | 10 | 8 | 41 | |
| ЗФ Зімінка | СС | 8,1 | 0,38 | 23,7 | 25,8 | 30 | 5 | 17 | |
| р-з Чернігівець | СС | 5,1 | 0,48 | 23,9 | 25,2 | 50 | 6 | 19 | |
| ЦЗФ «Узловська»+ ЦЗФ «Михайлівська» | П | 8,1 | 1,72 | 9,7 | 10,6 | 9 | 0 | 0 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.2

Петрографічні характеристики дослідженого вугілля

| Найменування ЗФ, ЦЗФ, розрізу | Марка | Петрографічний склад (без домішок), % | | | | | Середній довольний показник відбиття вітриніту, % Ro | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | |
|----------------------------------------|-------|---------------------------------------|----|----|----|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Vt | Sv | I | L | ΣOK | | 0,50-0,65 | 0,66-0,89 | 0,90-1,19 | 1,20-1,39 | 1,40-1,69 | 1,70-2,59 |
| | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідає стадіям метаморфізму вітриніта | | | | | |
| | | | | | | | ДГ | Г | Ж | К | ПС | П | |
| ЦЗФ «Комсомольська», (склад) | Г | 74 | 0 | 18 | 8 | 18 | 0,88 | 3 | 51 | 46 | 0 | 0 | 0 |
| ЗФ ім. Кірова | Г | 88 | 1 | 10 | 1 | 11 | 0,70 | 24 | 74 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Октябрьская» | Г | 60 | 1 | 25 | 14 | 26 | 0,69 | 32 | 66 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Комсомольська» | Г | 70 | 1 | 19 | 10 | 20 | 0,88 | 3 | 50 | 47 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Распадська» | ГЖ | 85 | 1 | 13 | 1 | 14 | 0,84 | 0 | 83 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Красноліманська» | Ж | 88 | 1 | 6 | 5 | 7 | 0,97 | 0 | 20 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Держинська» | Ж | 86 | 0 | 12 | 2 | 12 | 1,10 | 0 | 26 | 53 | 7 | 8 | 6 |
| ЦЗФ «Дуванская» | Ж | 92 | 0 | 5 | 3 | 5 | 0,98 | 0 | 5 | 95 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Калінінська» | Ж | 91 | 0 | 6 | 3 | 6 | 1,05 | 0 | 5 | 92 | 3 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Київська» | Ж | 88 | 1 | 9 | 2 | 10 | 1,06 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Пролітарська» | К | 94 | 1 | 5 | 0 | 6 | 1,30 | 0 | 3 | 24 | 37 | 36 | 0 |
| ЦЗФ «Колосніковська» + ЦЗФ «Узловська» | К | 92 | 1 | 7 | 0 | 8 | 1,42 | 0 | 0 | 3 | 55 | 38 | 4 |
| ЦЗФ «Узловська» | ПС | 87 | 0 | 13 | 0 | 13 | 1,58 | 0 | 0 | 0 | 3 | 89 | 8 |
| ЗФ Зімінка | СС | 29 | 1 | 70 | 0 | 71 | 0,98 | 0 | 43 | 42 | 5 | 10 | 0 |
| р-з Чернігівець | СС | 21 | 4 | 74 | 1 | 77 | 1,01 | 0 | 8 | 92 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Узловська»+ ЦЗФ «Михайлівська» | П | 92 | 0 | 8 | 0 | 8 | 2,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 88 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Газове жирне вугілля ЦЗФ «Распадська» характеризується високою спекливістю і здатністю, що спікає, що наближають його за цими ознаками до жирного вугіллям. Однак високий вихід летких речовин і порівняно невисока відбивна здатність суттєво знижує його технологічну цінність.

Жирне вугілля представлені концентратами 5 вуглезбагачувальних фабрик, що різко різняться за властивостями. Так, вміст сірки змінюється від 1,42 до 2,48%. Зольність коливається не більше 7,5 - 12,2 %, товщина пластичного шару змінюється від 16 до 25 мм. Найменшу технологічну цінність становлять вугілля ЦЗФ «Краснолиманська», у вітриніті якої міститься 20% складових, що стадії метаморфізму відповідають марці «Г», а також концентрат ЦЗФ «Держинська», у вітриніті якого представлені складові, що відповідають маркам «Г», «П», «К».

Інші три жирні вугілля є типовими представниками вугілля цієї марки, у вітриніті яких її вміст становить 92-100%.

Величина коефіцієнта розмолоздатності для цього вугілля змінюється в межах 79 - 87 од. Значення коефіцієнта розмолоспроможності, що дорівнює 96, встановлене для вугілля ЦЗФ «Держинська», підтверджує наявність у ньому складових, відповідних вугіллю марок «К», «ПС», і «П», які мають вищий, ніж жирне вугілля, рівень коефіцієнта розмолоспроможності.

Концентрати вугілля ЦЗФ «Пролетарська», ЦЗФ «Колосніковська» та ЦЗФ «Узловська», хоча й відповідають за рівнем класифікаційних показників марці «К», проте в чистому вигляді такими не є, а є сумішшю вугілля кількох марок (в основному «К» і «ПС»), про що свідчень.

Загалом це легкодробне вугілля з високими значеннями коефіцієнта розмолоздатності (96 - 101).

Вугілля марки «ПС» представлене концентратом ЦЗФ «Узловська». За комплексом технологічних властивостей та петрографічних характеристик він повністю відповідає вугіллю цієї марки. Вугілля має високе значення коефіцієнта розмолоздатності: (93 од.).

Присадочні російські вугілля ЗФ «Зимінка» і розрізу «Чернігівець» містять підвищену кількість неспікних, низьколетких мацералів групи інертиніту, що

обумовлює низький вихід летких речовин і знижену спекаемость цього вугілля, незважаючи на те, що вітрин цей вугілля відповідає по стадії метаморфізму газів.

Так як це вугілля відносяться до дюренових літотипів, які характеризуються високою твердістю і щільністю, коефіцієнт їх розмолоздатності дорівнює 53 - 64 од., що свідчить про їх важку дробність. За цією ознакою вони подібні до вивченого газового вугілля.

Суміш худого вугілля ЦЗФ «Узловська» та ЦЗФ «Михайлівська» повністю відповідає нормованим значенням класифікаційних показників для вугілля цієї марки.

Слід зазначити, що рефлектограми вітриніту вивченого вугілля підтверджують належність їх до мономарки тільки в 7 випадках з 16 (утримання у вітрині складових, що відповідають нормованій марці, 75% і більше). Інші вугілля є сумішами двох, трьох і навіть чотирьох марок. Це ускладнює оцінку справжньої технологічної цінності цього вугілля як компонентів вугільної шихти.

Виявлено три групи вугілля, що розрізняються по дробності. Важкодробні, що мають коефіцієнт розмолоздатності по Хардгроу на рівні 53 - 64 од.; середньодробільні – 79 – 87 од. та легкодробільні - 93 - 101 од. Зазначені особливості технологічних властивостей та петрографічних характеристик були використані при уточненні та оптимізації компонентного та марочного складу планових виробничих шихт, а також при оптимізації рівня подрібнення та схем підготовки вугільних шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2.

Для проведення лабораторних коксувань було прийнято склади планових виробничих шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2, які коксуються на батареях №5-8 за класичною технологією та на бат. №9 та 10 біс із застосуванням технології трамбування шихти. У рамках загальних ресурсів по заводу було проведено оптимізацію компонентного та марочного складів планових шихт. Критерієм оптимізації були комплексні петрографічні показники Сш (спікливість) та Кш (коксуємість) шихти. Склади дослідних та оптимізованих шихт окремо для бат. №5-8 та бат. №9 та 10 біс наведені в таблиці 2.3.

Для кожного складу шихти були використані дві різні схеми підготовки, у таблицях вказуються два номери варіантів. Технологічні властивості та петрографічні характеристики планових та оптимізованих шихт наведені в табл. 2.4 та 2.5.

Як видно з даних табл.2.4, планова та оптимізована шихти бат. №5-8 (вар.1 і 2) розрізняються по зольності та вмісту сірки ($A_d = 8,5$ і $7,2\%$; $S_{d1} = 1,61$ та $1,30\%$ відповідно). Вихід летких речовин, товщина пластичного шару та індекс Рогу у цих шихтах практично однакові. У той самий час показники спекаемости Сш і коксуемости Кш помітно краще в оптимізованій шихти ($C_{ш} = 48,75$ і $44,55\%$; $K_{ш} = 2,199$ і $2,129$ відповідно).

Оптимізована шихта бат. №9 біс має помітно меншу зольність та вміст сірки, ніж планова. Показники виходу летких речовин, товщини пластичного шару та спікаючої здатності до Рогу у них однакові. Так само як і для шихт бат. №5-8, планова та оптимізована шихти бат. №9 біс помітно розрізняються за комплексними петрографічними характеристиками, які помітно краще в оптимізованій шихті ($C_{ш} = 33,80$ і $27,47\%$ і $K_{ш} = 1,219$ і $0,993$ відповідно).

Оптимізована шихта бат. №10 біс на відміну перших двох оптимізованих шихт характеризується більшою зольністю і більшим вмістом сірки, ніж планова шихта. Однак у оптимізованій шихти дещо краще спікання та спікаюча здатність по Рогу, а також показники Сш та Кш ($C_{ш} = 29,90$ та $27,72$ та $K_{ш} = 1,106$ та $1,035$ відповідно).

Досвідчені шихти подрібнювалися за двома різними схемами. Шихти вар.1 і 2 (батарея №5-8) дробилися за схемою ДШ (дроблення шихти рівня $80 \pm 1\%$ змісту класу 3-0 мм). Шихти вар.3, 4 (батарея №9 біс) і вар.5, 6 (батарея №10 біс) також подрібнювалися за схемою ДШ, але рівня $91 \pm 1\%$ змісту класу 3 - Про мм.

Шихти вар. 7 і 8 (батарея №5-8) дробилися за схемою ГДК (групове дроблення компонентів) з попереднім відсіванням дрібних класів (менше 6 мм). Порядок підготовки був наступним. Вугілля, що входить до складу шихт вар. 7 і 8, були розділені на дві групи: важко і легко подрібнені. До важко подрібненого вугілля шихти вар. 7 були віднесені газові жирні вугілля ЦЗФ «Распадська»,

вугілля марки «СС» розрізу «Чернігівець» та ЗФ «Зімінка», а також тонкі вугілля суміші концентратів ЦЗФ «Узловська» та ЦЗФ «Михайлівська». До легко подрібненого вугілля віднесено жирне вугілля ЦЗФ «Краснолиманське», ЦЗФ «Держинське» та ЦЗФ «Дуванське», вугілля марки «К» ЦЗФ «Пролетарське», суміш концентратів ЦЗФ «Колосніковське» і ЦЗФ «Узловське», а також вугілля марки «ПС» ЦОФ.

Група важко подрібненого вугілля подрібнювалася до рівня 90% вмісту класу менше 3 мм. М'яке вугілля розсіювалися на ситі 6 мм. Від підрешітного продукту відбиралася половина його кількості та поєднувалася з класом крупності більше 6 мм. Виділення лише половини подрешетного продукту обумовлено тим, що існуючі гуркоти для відсіву дрібних класів, як показала практика їх використання, забезпечують відсівання не більше половини фактичної кількості дрібних класів. Решта половини залишається в надрешітному продукті.

Надгратовий продукт, що складається з зерен більше 6 мм, і половина гратного продукту подрібнювалися спільно до рівня 85% вмісту класу менше 3 мм.

На завершення подрібнені до рівня 90% класу менше 3 мм тверді вугілля, подрібнена до рівня 85% класу менше 3 мм частина м'якого вугілля класу більше 6 мм і половина класу менше 6 мм, а також половина неподрібненого класу менше 6 мм м'якого вугілля об'єднувалися. В об'єднаній шихті вміст класу менше 3 мм для шихти вар. 7 становило 87,0%.

У шихті варіанта 8 до групи важкозбагачувального вугілля було віднесено газове вугілля ЦЗФ «Комсомольська» (склад), газове жирне вугілля ЦЗФ «Распадська» та вугілля марки «СС» розрізу «Чернігівець». До легко подрібненого вугілля віднесено жирне вугілля ЦЗФ «Краснолиманське» та ЦЗФ «Київська», коксове вугілля ЦЗФ «Пролетарське» та суміш концентратів ЦЗФ «Колосніковське» та ЦЗФ «Узловське», а також піснувато спікливе вугілля ЦЗФ «Узловське».

Таблиця 2.3

Компонентний склад вугільних шихт

| Найменування ЗФ, ЦЗФ, розрізу | Марка | Склад шихти, % | | | | | |
|-------------------------------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| | | Бат.№5-8 | | Бат.№9 | | Бат.№10 | |
| | | Заводський В-1; 7 | Оптимізований В-2; 8 | Заводський В-3; 9 | Оптимізований В-4; 10 | Заводський В-5; 11 | Оптимізований В-6; 12 |
| ЦЗФ «Комсомольська», (склад) | Г | 11,6 | 20,0 | 0 | 15,0 | 21,3 | 11,0 |
| ЗФ ім. Кірова | Г | 0 | 0 | 6,3 | 6,0 | 6,3 | 8,0 |
| ЦЗФ «Октябрьская» | Г | 0 | 0 | 9,3 | 7,0 | 4,3 | 7,0 |
| ЦЗФ «Комсомольська» | Г | 0 | 0 | 16,9 | 0 | 8,5 | 0 |
| ЦЗФ «Распадська» | ГЖ | 10,1 | 5,0 | 21,1 | 26,0 | 21,3 | 26,0 |
| ЦЗФ «Красноліманська» | Ж | 4,6 | 5,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Дзержинська» | Ж | 17,6 | 0 | 0 | 21,0 | 0 | 10,0 |
| ЦЗФ «Дуванская» | Ж | 10,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Калінінська» | Ж | 0 | 0 | 8,4 | 0 | 0 | 9,0 |
| ЦЗФ «Київська» | Ж | 0 | 18,0 | 8,5 | 0 | 8,5 | 4,0 |
| ЦЗФ «Пролітарська» | К | 5,1 | 13,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Колосніковська» + ЦЗФ «Узловська» | К | 23,3 | 14,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЦЗФ «Узловська» | ПС | 2,9 | 7,0 | 4,2 | 0 | 4,3 | 0 |
| ЗФ Зімінка | СС | 5,1 | 0 | 0 | 15,0 | 16,9 | 12,0 |
| р-з Чернігівець | СС | 5,1 | 18,0 | 25,3 | 10,0 | 8,6 | 6,0 |
| ЦЗФ «Узловська»+ ЦЗФ «Михайлівська» | П | 4,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,0 |
| Разом | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.4

Технологічні властивості дослідних шихт

| Найменування | Технічний аналіз, % | | | | Пластометричні показники, мм | | Співлива здатність по Рога, од. |
|---------------|---------------------|-----------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----|---------------------------------|
| | A ^d | S _t ^d | V ^d | V ^{daf} | x | y | RI |
| Варіант 1, 7 | 8,5 | 1,61 | 26,4 | 28,9 | 19 | 15 | 56 |
| Варіант 2, 8 | 7,2 | 1,30 | 26,9 | 29,0 | 23 | 15 | 53 |
| Варіант 3, 9 | 8,2 | 1,04 | 31,1 | 33,9 | 32 | 14 | 48 |
| Варіант 4, 10 | 6,5 | 0,88 | 31,1 | 33,3 | 34 | 14 | 47 |
| Варіант 5, 11 | 7,0 | 0,82 | 31,2 | 33,6 | 33 | 13 | 46 |
| Варіант 6, 12 | 7,8 | 1,02 | 30,3 | 32,9 | 28 | 14 | 48 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.5

Петрографічні показники дослідних вугільних шихт

| Найменування | Сш | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок), % | | | | | Середній довільний показник відбиття вітриніту, % Ro | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | |
|---------------|-------|-------|---------------------------------------------------|----|----|---|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣOK | | 0,50-0,65 | 0,66-0,89 | 0,90-1,19 | 1,20-1,39 | 1,40-1,69 | 1,70-2,59 |
| | | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідає стадіям метаморфізму вітриніта | | | | | |
| | | | | | | | | ДГ | Г | Ж | К | ПС | П | |
| Варіант 1, 7 | 44,55 | 2,129 | 81 | 1 | 16 | 2 | 17 | 1,16 | 1 | 23 | 39 | 16 | 15 | 6 |
| Варіант 2, 8 | 48,75 | 2,199 | 75 | 1 | 22 | 2 | 23 | 1,12 | 1 | 17 | 52 | 13 | 16 | 1 |
| Варіант 3, 9 | 27,47 | 0,993 | 67 | 1 | 29 | 3 | 30 | 0,92 | 4 | 51 | 39 | 2 | 3 | 1 |
| Варіант 4, 10 | 33,80 | 1,219 | 65 | 2 | 29 | 4 | 31 | 0,93 | 5 | 39 | 51 | 1 | 4 | 0 |
| Варіант 5, 11 | 27,72 | 1,035 | 66 | 1 | 29 | 4 | 30 | 0,93 | 4 | 48 | 41 | 1 | 5 | 1 |
| Варіант 6, 12 | 29,20 | 1,106 | 73 | 1 | 23 | 3 | 24 | 1,00 | 5 | 46 | 38 | 2 | 2 | 7 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.6

Якісні показники отриманих дослідних коксів

| Варіант шихти, схема підготовки | Технічний аналіз, % | | | Коефіцієнт озолення | Коефіцієнт знесірчення | Структурна міцність Грязнову, % | Абразивна твердість попо Гінзбургу, мг |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| | A ^d | S _t ^d | V ^{daf} | | | | |
| Варіант 1 | 11,1 | 1,23 | 0,6 | 1,294 | 0,764 | 87,1 | 50,6 |
| Варіант 7 | 11,0 | 1,25 | 0,7 | 1,294 | 0,776 | 91,7 | 56,5 |
| Варіант 2 | 9,5 | 1,01 | 0,9 | 1,319 | 0,777 | 91,6 | 55,3 |
| Варіант 8 | 9,7 | 1,03 | 0,9 | 1,347 | 0,792 | 92,8 | 58,0 |
| Варіант 3 | 11,0 | 0,83 | 0,7 | 1,341 | 0,798 | 90,3 | 47,3 |
| Варіант 9 | 11,2 | 0,85 | 0,9 | 1,366 | 0,87 | 92,0 | 57,3 |
| Варіант 4 | 8,9 | 0,72 | 0,9 | 1,369 | 0,818 | 91,5 | 59,3 |
| Варіант 10 | 9,0 | 0,74 | 0,4 | 1,385 | 0,841 | 92,3 | 61,8 |
| Варіант 5 | 9,6 | 0,70 | 0,9 | 1,371 | 0,854 | 90,1 | 47,8 |
| Варіант 11 | 9,5 | 0,71 | 0,6 | 1,357 | 0,866 | 91,9 | 56,9 |
| Варіант 6 | 10,6 | 0,89 | 1,1 | 1,359 | 0,873 | 91,5 | 56,6 |
| Варіант 12 | 10,8 | 0,85 | 0,8 | 1,385 | 0,833 | 92,1 | 62,8 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Схема підготовки шихти вар.8 була такою самою, як і для шихти вар.7. У об'єднаній шихті зміст класу 3 - Про мм становило 87,5%.

Шихти бат. №9 і 10 біс подрібнювалися за схемою ГДК рівня 91 ± 1 % змісту класу 3 - Про мм.

Порядок підготовки був наступним.

Важко подрібнене вугілля в шихті бат. №9 біс (вар.9) представлені концентратами газового вугілля ЦЗФ ім. Кірова, ЦЗФ «Жовтнева» та ЦЗФ «Комсомольська», а також вугіллям марки «СС» розрізу «Чернігівець». Група легко дробленого вугілля включає концентрати газового жирного вугілля ЦЗФ «Распадська», жирного вугілля ЦЗФ «Київська» та вугілля марки «ПС» ЦЗФ «Узловська». Кожна група роздільно подрібнювалася до заданого рівня 91 ± 1 % вмісту класу 3 - Про мм, після чого вони об'єднувалися в загальну шихту.

У групу важко подрібненого вугілля в шихті бат. №9 біс (вар.10) були включені газове вугілля ЦЗФ «Комсомольська» (склад), ЦЗФ ім. Кірова, ЦЗФ «Жовтнева» та вугілля марки «СС» ЦЗФ «Зимінка» та розрізу «Черніровець». До легко подрібненого вугілля віднесені газові жирні вугілля ЦЗФ «Распадська» і жирні вугілля ЦОФ «Дзержинська». Схема підготовки та рівень подрібнення аналогічні вар.9.

Шихти вар. 11 і 12 (бат. №10) готувалися також як і шихти бат. №9 біс.

У шихті вар.11 виділена група важко подрібненого вугілля, що включає концентрати ЦЗФ «Комсомольська» (склад), ЦЗФ ім. Кірова, ЦЗФ «Жовтнева» та ЦЗФ «Комсомольська», а також вугілля марки «СС» ЦЗФ «Зимника» та розрізу «Чернігівець». Легко подрібнене вугілля в цій шихті представлені концентратами марки «ГЖ» ЦЗФ «Распадська», жирним вугіллям ЦЗФ «Київська» і вугіллям марки «ПС» ЦЗФ «Узловська».

Група важко подрібненого вугілля шихти вар.12 представлена газовим вугіллям ЦЗФ «Комсомольська» (склад), ОФ ім. Кірова, ЦЗФ «Жовтнева», вугіллям марки «СС» ЦЗФ «Зимника» та розрізу «Черніровець», а також пісним вугіллям ЦЗФ «Вузловська» та ЦЗФ «Михайлівська».

До легко подрібнених віднесені газові жирні вугілля ЦЗФ «Распадська», жирні вугілля ЦЗФ «Дзержинська», ЦЗФ «Калининська» та ЦЗФ «Київська».

Схема підготовки та рівень подрібнення шихт вар.11 та 1.2 аналогічні варіантам №9 та 10.

Планова та оптимізована шихти, окремо по кожному цеху, підготовлені двома різними способами, були прококовані в 5 кг лабораторної печі коксової конструкції УХІНа. При цьому шихти батареї №5 - 8 коксувалися насипом, а шихти бат. №9 та 1 Про біс. у трамбованому вигляді.

Методика проведення коксувань, випробування та оброблення лабораторного коксу були неодноразово використані в попередніх роботах, у зв'язку з чим їхнє писання у цій роботі не наводиться.

Для отриманих з дослідних шихт коксів (всього 12 варіантів) визначали вихід сухого валового коксу, показники технічного аналізу, барабанної міцності, структурної міцності по Грязнову та абразивної твердості Гінзбургу. Отримані результати наведено у таблицях 2.6 та 2.7.

Аналіз зазначених даних показує таке. Зольність і вміст сірки дослідних коксів змінюються в широких межах ($A^d = 9,5 - 11,2\%$; $S_t^d = 0,70 - 1,25\%$), проте за цими показниками всі вони задовольняють вимоги до коксу марки КД2 відповідно до чинних технічних умов. Вихід летких речовин не перевищує граничного значення, що дорівнює 1,2%, встановленого в технічних умовах для коксів нормальної готовності.

Коефіцієнти озолення, як відомо, залежать прямопропорційно від виходу летких речовин. Чим більший вихід летких речовин із шихти, тим більше, як правило, ко- ефект озоління. Коефіцієнт залишкової сірки зазвичай тим вищий, чим менший вміст сірки у вихідній шихті.

Показники структурної міцності по Грязнову, що відбивають міцність пористого тіла коксу, позбавленого тріщин, вище коксах з оптимізованих шихт, проти коксами з планових шихт, а межах однієї шихти вище там, де застосовувалася схема підготовки ГДК.

Аналогічна ситуація відзначається і для показника абразивної твердості по Гінзбургу, який характеризує твердість речовини коксу, що складає стінки пір. Зазначений показник зростає у оптимізованих шихт, а межах однієї шихти більше там, де підготовка шихти проводилася за схемою ГДК.

Вихід сухого валового коксу безпосередньо залежить від виходу летких речовин із шихти, що відбилося у даних про вихід коксу (табл.2.7).

Дані табл.2.7 наочно демонструють ефективність використання схеми підготовки ГДК та обраних рівнів подрібнення окремих груп вугілля та шихт. Так, для шихти батарей №5-8 при застосуванні схеми підготовки ГДК відзначається суттєве поліпшення показників міцності P_{25} на 0,6 – 0,7 % та I_{10} на 0,6 – 0,4 % як для планових, так і для оптимізованих шихт.

Застосування технології трамбування дещо знижує ефект використання схеми ГДК порівняно з класичною технологією коксування. Однак і тут ефект збільшення показників міцності проявляється досить помітно. Так, для шихт бат.№9 біс використання схеми підготовки ГДК дозволяє поліпшити показники міцності I_{40} на 0,6 - 0,7 %; P_{25} на 05 - 07%; I_{10} на 0,1%.

Не настільки помітне поліпшення показників стирання I_{10} при використанні технології трамбування, порівняно з класичною, пояснюється переважно двома факторами. Перше - це технологічна необхідність поліпшення трамбуємості тонкого подрібнення вугілля (90 ± 1 % вмісту класу 3 - Про мм) незалежно від схеми підготовки ДШ чи ГДК. Друге - це висока насипна щільність трамбованого пирога, що сприяє тісному контакту зерен, що деструктують, і поліпшенню взаємодії продуктів їх деструкції.

Отримані дані вказують також на певний резерв поліпшення характеристик міцності коксу за рахунок оптимізації марочного і компонентного складу шихт по чергах заводу в рамках загальнозаводських ресурсів. Використання для оптимізації розроблених УХІН комплексних петрографічних показників Сш і Кш розширює можливості об'єктивної оцінки технологічної цінності окремих вугільних концентратів та їх сумішей.

Таблиця 2.7

Схема підготовки вугільних шихт та якість отриманих коксів

| № батареї | Найменування шихти | Схема підготовки шихти | № варіанту шихти | Вихід сухого валового коксу,% | Показники міцності, % | | |
|-----------|--------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | П ₄₀ | П ₂₅ | I ₁₀ |
| 5-8 | Планова | ДШ | 1 | 76,4 | 82,2 | 90,7 | 7,7 |
| | | ГДК | 7 | 76,4 | 84,3 | 91,3 | 7,1 |
| | | ±Л | | | +2,1 | +0,6 | -0,6 |
| | Оптимізована | ДШ | 2 | 76,1 | 82,4 | 91,0 | 7,1 |
| | | ГДК | 8 | 76,1 | 84,8 | 81,7 | 6,7 |
| | | ±Л | | | +2,4 | +0,7 | -0,4 |
| 9 бис | Планова | ДШ | 3 | 73,1 | 79,3 | 90,2 | 7,9 |
| | | ГДК | 9 | 73,1 | 80,6 | 91,0 | 7,6 |
| | | ±Л | | | +1,3 | +0,8 | -0,3 |
| | Оптимізована | ДШ | 4 | 73,2 | 80,1 | 90,7 | 7,7 |
| | | ГДК | 10 | 73,2 | 81,3 | 91,4 | 7,4 |
| | | ±Л | | | +1,2 | +0,7 | -0,3 |
| 10 бис | Планова | ДШ | 5 | 73,0 | 79,0 | 89,8 | 7,8 |
| | | ГДК | 11 | 73,0 | 79,6 | 90,3 | 7,7 |
| | | ±Л | | | +0,6 | +0,5 | -0,1 |
| | Оптимізована | ДШ | 6 | 73,7 | 80,0 | 90,3 | 7,6 |
| | | ГДК | 12 | 73,7 | 80,7 | 91,0 | 7,5 |
| | | ±Л | | | +0,7 | +0,7 | -0,1 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

2.1 Перевірка у дослідно-промислових умовах розроблених раціональних схем підготовки та рівня подрібнення планових та оптимізованих шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2.

У розділі 2 були детально описані принципи оптимізації компонентного та марочного складів планових виробничих вугільних шихт ВПЦ-1 і ВПЦ-2, а також докладно охарактеризовані схеми підготовки ДШ і ГДК, що використовуються.

Для проведення дослідно-промислових ящикових коксувань використовувалися ті ж компоненти вугільних шихт, планові та оптимізовані шихти та схеми їх підготовки, що й при проведенні лабораторних коксувань у 5 кг печі конструкції УХІНу.

Для контролю правильності складання шихт для ящикових коксувань було визначено їх основні технологічні властивості (табл.2.8), які були зіставлені з тими ж шихт для лабораторних коксувань (табл.2.4 розділ 2). Порівняння зазначених даних підтвердило практично повну відповідність.

Таблиця 2.8

Характеристики шихт для ящикних коксувань

| Найменування | Технічний аналіз,% | | | | Пластометричні показники, мм | | Співлива здатність по Рога, од. RI |
|---------------|--------------------|-----------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----|------------------------------------|
| | A ^d | S _t ^d | V ^d | V ^{daf} | x | y | |
| Варіант 1, 7 | 8,2 | 1,59 | 26,2 | 28,5 | 20 | 15 | 53 |
| Варіант 2, 8 | 8,3 | 1,34 | 26,4 | 28,5 | 21 | 15 | 56 |
| Варіант 3, 9 | 8,1 | 1,00 | 30,9 | 33,6 | 25 | 14 | 49 |
| Варіант 4, 10 | 6,7 | 0,92 | 31,0 | 33,2 | 35 | 14 | 46 |
| Варіант 5, 11 | 6,9 | 0,85 | 30,8 | 33,1 | 28 | 13 | 46 |
| Варіант 6, 12 | 8,3 | 1,09 | 30,1 | 32,5 | 31 | 14 | 50 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Досвідчені шихти ВПЦ-1 (варіанти 1, 2, 7 та 8), підготовлені за схемою дроблення ДШ та ГДК були завантажені у 8 перфорованих металевих ящиків по 2 ящики на кожен варіант шихти.

Розмір ящиків, мм: 200х200х320, корисний об'єм 10 дм³. При насипній щільності 0,8 кг/дм³ місткість ящика становить 8 кг шихти.

Коксування шихт ВПЦ-1 (варіанти 1, 2, 7 та 8) проводили в КЦ - 2 на батареї №7 при обороті печей 15 год 40 хв. Коксування ящиків із шихтою проводили у двох камерах.

Ящики в піч опускали через середній люк завантаження після випуску з завантажувального вагона, приблизно, половини шихти. Ящики розташовували в камері таким чином, щоб їх найбільш довга сторона (320 мм) була перпендикулярною до стінок, що гріють камери коксування. Після завантаження ящиків у піч її довантажували шихтою, що залишилася у вагоні. У кожному піч завантажували по чотири ящики.

Температуру вздовж обігрівальних простінок печей із ящиками заміряли на 2/3 періоду коксування. Температура простінок обох печей була практично однаковою і в масових вертикалах по ходу з машинного боку на коксову склала, ОС: МС - 1305; СР. люк-1330; КС - 1355. Таким чином, температурний режим обох печей був однаковим та відповідав даному періоду коксування.

У КЦ - 3 ящикові коксування шихт ВПЦ-2 (варіанти 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 та 12) проводили на бат. №9 біс із трамбуванням шихти та мокрим гасінням при обороті печей 23 год 30 хв. На бат. №10 біс, що входить до складу КЦ - 3, ящикові коксування проводити неможливо, т.к. вона побудована в комплексі з УСГК, розвантажувальний пристрій блоків якої неминуче зруйнував би ящики з досвідченим коксом. Відстань між кромкою лопаті роторного живильника розвантажувального пристрою і нижньою кромкою видального жолоба становить 260 мм, в той час як максимальний розмір ящика становить 420 мм - довжина, 210 і 120 мм - відповідно ширина і висота ящика.

Завантаження ящиків шихтою проводили в такий спосіб. Зволожену до ~ 11,0% шихту трамбували у спеціальному трамбувачі порціями по 1, 1 кг з

утворенням трамбованих «кубиків» розміром 100x100x~96 мм. Робота трамбування в трамбувачі відповідає роботі трамбування в ТЗВМ. У кожному шухляду щільно укладали по вісім «кубиків» у два ряди по чотири в ряду. Довжина завантаження становила 400 мм, ширина – 200 мм, висота – ~96 мм, маса завантаження – 8,8 кг.

Розміщення ящиків у трамбованому пирозі проводили за розробленою раніше методикою. Переводили ТЗВМ на ручне керування, завантажували шихту в трамбувальну камеру протягом 25 с для утворення «подушки» висотою ~ 0,6 м, потім відкривали передні двері трамбувальної камери, стопорили поздовжні траверси, що оберігають падіння трамбувальних штанг в камеру, і заносили в камеру на поверхню шихтової «подушки». Ящики мали більшу сторону перпендикулярно стінкам трамбувальної камери, причому таким чином, щоб після завантаження трамбованого пирога в піч ящики знаходилися навпроти 22, 23, 24 і 25-го вертикалів обігрівальних простінків. Потім двері трамбувальної камери закривали і довантажували в неї шихту ще протягом 20 с для утворення верхньої «подушки», що захищає ящики від деформації штангами трамбувальними. Після цього переводили ТЗВМ в автоматичний режим і пускали в роботу штанги трамбування.

З огляду на невелику конусність камер коксування печей бат. №9 біс - 20 мм, температура в обігрівальних простінках на машинній та коксовій стороні витримується практично однаковою. Температура простінків, заміряна на 2/3 періодах коксування у зоні розташування ящиків, становила 1335 °З.

Після видачі ящики вилучали з масиву коксу на коксовій рампі, ящиковий кокс висушували до повного видалення вологи, зважували і випробовували в барабані на механічну міцність після 4-кратного скидання на металеву плиту з висотою 1,85 м. В табл.2.9. Грязнову, абразивної твердості по Гінсбургу, а також величини коефіцієнтів озоління та знеселювання, отримані для ящикових коксів.

Зольність дослідних коксів невисока та змінюється в межах від 9,0 до 11,3%. Вміст сірки в коксах із шихт ВПЦ-1 (варіанти 1, 2, 7 та 8) дещо перевищує 1 % і коливається від 1,02 до 1,20 %. Вміст сірки в коксах із шихти ВПЦ-2

(варіанти 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 та 12) у всіх випадках менший за 1 % і перебувають в інтервалі значень 0,75 -0,95 %.

Таблиця 2.9

Якісні показники ящикового коксу та коефіцієнти озолення та знесірчення

| Варіант шихти, схема підготовки | Технічний аналіз, % | | | Коефіцієнт озолення | Коефіцієнт знесірчення | Структурна міцність потв. Грязнову, % | Абразивна потв. Гінсбургу, мг |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| | A ^d | S _t ^{d o} | V ^{daf} | | | | |
| Варіант 1 (ДШ) | 10,8 | 1,17 | 1,1 | 1,317 | 0,736 | 91,5 | 109 |
| Варіант 7 (ГДК) | 10,6 | 1,20 | 1,0 | 1,325 | 0,755 | 93 | 114 |
| Варіант 2 (ДШ) | 9,3 | 1,02 | 1,0 | 1,310 | 0,761 | 92 | 113 |
| Варіант 8 (ГДК) | 9,3 | 1,03 | 1,1 | 1,310 | 0,769 | 93 | 128 |
| Варіант 3 (ДШ) | 11,1 | 0,90 | 1,0 | 1,370 | 0,900 | 92 | 117 |
| Варіант 9 (ГДК) | 11,3 | 0,87 | 0,95 | 1,395 | 0,870 | 93 | 127 |
| Варіант 4 (ДШ) | 9,0 | 0,77 | 1,1 | 1,343 | 0,837 | 90,5 | 111 |
| Варіант 10 (ГДК) | 9,1 | 0,76 | 0,9 | 1,358 | 0,826 | 93 | 129 |
| Варіант 5 (ДШ) | 9,5 | 0,79 | 0,9 | 1,377 | 0,860 | 91,5 | 118 |
| Варіант 11 (ГДК) | 9,7 | 0,75 | 1,1 | 1,406 | 0,882 | 92 | 136 |
| Варіант 6 (ДШ) | 10,3 | 0,93 | 0,7 | 1,373 | 0,853 | 92 | 122 |
| Варіант 12 (ГДК) | 10,7 | 0,95 | 1,0 | 1,427 | 0,871 | 93 | 134 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таким чином, кокси із шихт ВПЦ -1 за вмістом сірки та зольності відповідають коксу марки КД2, а кокси із шихт ВПЦ - 2 (крім вар.3 та 9) відповідають коксу марки КД 1 за чинними технічними умовами (ТУ У 322-00190443-114-96 Кокс доменний. Технічні умови).

Значення коефіцієнтів озолення відповідають величині виходу летких речовин із вихідних шихт. Так, при виході летких речовин (V^d, %), що дорівнює

26,2 - 26,4 для шихт ВПЦ - 1, коефіцієнти озолення мають значення 1,310 - 1,325 (варіанти 1, 2, 7 та 8). У той самий час шихти ВПЦ-2 мають вихід летких речовин, рівний 30,1 - 31,0 %, що зумовлює величину коефіцієнта озолення лише на рівні 1,343 - 1,427.

Коефіцієнт залишкової сірки («обезсерювання») значною мірою залежить від рівня вмісту сірки у вихідній шихті.

У зв'язку з цим коефіцієнт залишкової сірки нижче для шихт ВПЦ - 1 порівняно з тим же для шихт ВПЦ - 2 (0,736 - 0,769 та 0,826 - 0,900 відповідно).

Величини значень структурної міцності по Грязнову ящиккових коксів змінюються так само як і для лабораторних коксів. У коксах із оптимізованих шихт вона дещо вища, ніж у коксів із планових шихт, а в межах однієї шихти вище там, де застосовувалася схема ГДК. У цілому нині рівень значень структурної міцності по Грязнову у ящиккових коксів близький до того ж лабораторних коксів. Це пов'язано з тим, що міцність пористого тіла коксу, позбавленого тріщин, визначається за методом Грязнова, залежить, переважно, від рівня прогріву коксового пирога. У той же час абразивна твердість по Гінсбургу, що характеризує твердість речовини коксу, що складає стінки пір, залежить, в основному, від глибини поліконденсаційних процесів, що протікають у речовині коксу відносно невисокою швидкістю. Тому при одному кінцевому рівні температур у масиві коксу абразивна твердість тим вища, що триваліший період коксування. У зв'язку з викладеним, величина значень показників абразивної твердості у ящиккових коксів майже вдвічі вища, ніж у лабораторних.

Тенденція зростання аналізованого показника відзначається для коксів з шихт, підготовлених за схемою ГДК, що обумовлено поліпшенням процесів взаємодії деструктуючих вугільних зерен за рахунок більш рівномірного розподілу складових, що спікаються і не спікаються в коксівній вугільній масі.

У таблиці 2.10 наведено дані визначення гранулометричного складу ящиккових коксів після 4-х кратного скидання на металеву плиту з висоти 1,85 м.

Як видно з наведених даних, кокси з шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2 дещо різняться по крупності. Це насамперед стосується змісту класів понад 60 і 60 - 40 мм.

Більший вміст цих класів крупності в коксах, отриманих із шихт ВПЦ-1, обумовлює і більший їх середній діаметр порівняно з коксами, отриманими з шихт ВПЦ-2.

Таблиця 2.10

Гранулометричний склад дослідних шихт

| № варіанту шихти | Гранулометричний склад ящикних коксів, % Класи крупності, мм | | | | | Середній діаметр, мм |
|------------------|--------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|------|----------------------|
| | +80 | 80 - 60 | 60-40 | 40-25 | - 25 | |
| Варіант 1 | 3,0 | 27,3 | 45,4 | 17,3 | 7,0 | 51,0 |
| Варіант 7 | 4,5 | 25,7 | 47,7 | 16,2 | 5,9 | 51,9 |
| Варіант 2 | 2,7 | 26,1 | 46,4 | 19,2 | 5,6 | 50,8 |
| Варіант 8 | 1,8 | 25,0 | 48,0 | 19,7 | 5,5 | 50,2 |
| Варіант 3 | 0 | 27,2 | 56,4 | 9,8 | 6,6 | 51,2 |
| Варіант 9 | 0 | 26,8 | 51,9 | 17,9 | 3,4 | 50,9 |
| Варіант 4 | 0 | 22,5 | 50,1 | 20,9 | 6,5 | 48,4 |
| Варіант 10 | 0 | 26,6 | 48,5 | 20,3 | 4,5 | 50,0 |
| Варіант 5 | 0 | 26,7 | 50,2 | 16,4 | 6,7 | 50,0 |
| Варіант 11 | 0 | 23,4 | 53,8 | 18,2 | 4,6 | 49,8 |
| Варіант 6 | 0 | 19,8 | 58,0 | 16,2 | 6,0 | 48,9 |
| Варіант 12 | 0 | 17,1 | 62,8 | 15,6 | 4,5 | 49,0 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Аналіз показує, що існує чітка закономірність зниження вмісту дрібних класів (25-0 мм) в коксах, отриманих із шихт, підготовлених за схемою ГДК, порівняно з підготовленими за схемою ДШ, безвідносно до технології коксування, що застосовується.

У таблиці 2.11 наведено дані про вихід сухого валового коксу та показники його міцності. Як завжди, вихід коксу визначається, головним чином, виходом

летких речовин із шихти, який відображає термічну стійкість органічної складової вугільної завантаження.

Як і при проведенні лабораторних коксувань, отримані в дослідно-промислових умовах дані переконливо показують ефективність використання схеми ГДК, особливо в умовах ВПЦ-1. На плановій шихті застосування схеми підготовки ГДК дає поліпшення характеристик міцності за показником M_{25} на 1,8% і за показником M_{10} на 0,4%. Ефект від застосування схеми підготовки ГДК на оптимізованій шихті дещо нижчий, хоча він виявляється досить чітко.

Таблиця 2.11

Вихід і показники міцності ящичних коксів

| № батареї | Найменування шихти | Схема підготовки шихти | № варіанту шихти | Вихід сухого валового коксу, % | Показники міцності, % | |
|-----------|--------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| | | | | | P_{25} | I_{10} |
| 5-8 | Планова | ДШ | 1 | 76,52 | 90,7 | 7,1 |
| | | ГДК | 7 | 76,79 | 92,5 | 6,7 |
| | | ±Л | | | +1,8 | -0,4 |
| | Оптимізована | ДШ | 2 | 76,74 | 92,4 | 6,7 |
| | | ГДК | 8 | 76,83 | 92,8 | 6,4 |
| | | ±Л | | | +0,4 | -0,3 |
| 9 бис | Планова | ДШ | 3 | 73,20 | 92,5 | 5,4 |
| | | ГДК | 9 | 73,03 | 93,4 | 5,1 |
| | | ±Л | | | +0,9 | -0,3 |
| | Оптимізована | ДШ | 4 | 73,15 | 93,1 | 5,3 |
| | | ГДК | 10 | 72,84 | 94,0 | 4,7 |
| | | ±Л | | | +0,9 | -0,6 |
| 10 бис | Планова | ДШ | 5 | 73,17 | 94,2 | 4,6 |
| | | ГДК | 11 | 73,46 | 94,6 | 4,4 |
| | | ±Л | | | +0,4 | -0,2 |
| | Оптимізована | ДШ | 6 | 73,58 | 94,1 | 4,5 |
| | | ГДК | 12 | 73,52 | 94,4 | 4,4 |
| | | ±Л | | | +0,3 | -0,1 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Застосування технології трамбування шихти, як вказувалося в розділі 2, дещо знижує ефективність застосування схеми ГДК. Однак, покращення показників дробимості і стирання відзначається і для коксів, отриманих з трамбованих шихт.

Отримані результати також підтверджують можливість та доцільність застосування комплексних петрографічних характеристик $S_{Ш}$ та $K_{Ш}$ для оптимізації складів шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2 у рамках виділених загальнозаводських ресурсів.

Сумарний ефект від оптимізації шихт по чергах заводу та застосування схеми підготовки ГДК може становити за показником M_{25} не менше 1 % та показником M_{10} не менше 0,5 %.

2.2 Аналіз впливу коливання якісних показників шихти на якість коксу

У сировинній основі Алчевського КХЗ беруть участь вугілля великої кількості постачальників, різко різняться за якостями. Так, донецькі вугілля представлені вугіллям всього метаморфічного ряду від газових до худих. При цьому концентрати багатьох українських збагачувальних фабрик фактично не є мономарками, а є складними сумішами вугілля різних марок. У помітних кількостях у сировинній базі Алчевського КХЗ містяться російські вугілля, і в тому числі слабоспіканне, петрографічно неоднорідне вугілля марок «КС» і «СС», в яких присутні у значних кількостях (до 70%) мацерали групи інертиніту.

До складу Алчевського КХЗ входять батареї №5-8, що працюють за традиційною технологією, а також бат. №9 та 10 біс, що використовують технологію трамбування шихти. На бат. №10 біс тушкування коксу здійснюється в установках сухого гасіння коксу.

Різні технології коксування вимагають різного рівня подрібнення та вологості шихти, а також специфічних умов коксування, таких як температура в обігрівальних простінках та період коксування.

Вищевикладене диктує необхідність диференціації складів вугільних шихт по чергах заводу, яка враховувала б існуючу специфіку підготовки та коксування в окремих цехах.

У (табл.2.3, 2.4 та 2.5) наведено якість та процентний вміст компонентів, а також технологічні властивості та петрографічні характеристики планових вугільних шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2. Як видно з наведених даних, шихти різко розрізняються за компонентним складом, показниками технологічних властивостей та петрографічними характеристиками.

Так, шихта ВПЦ-1 має більш високу зольність, вміст сірки та товщину пластичного шару порівняно з шихтою ВПЦ-2. Вихід летких речовин (V^{daf} , %) з шихти ВПЦ-1 становить 28,9%, та якщо з шихти ВПЦ-2 - 33,6%.

Відчутна різниця між шихтами ВПЦ-1 та ВПЦ-2 має місце і за петрографічними характеристиками. Так, шихта ВПЦ-1 має показник відбиття вітриніту, що дорівнює 1,16 %, а ВПЦ-2 – 0,93 %. У цьому вміст вітриніту в шихті ВПЦ-1 становить 81 %, а шихті ВПЦ-2 - 66 %. У шихті ВПЦ-2 набагато більше спекливих мацералів групи інертиніту, ніж у шихті ВПЦ-1 (30 і 17 % відповідно).

Різко різняться у шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2 та рефлектограми вітриніту.

Для проведення аналізу впливу комплексу властивостей шихт ВПЦ-1 та ВПЦ-2 на властивості металургійного коксу були використані дані заводу. Технологічні властивості та петрографічні характеристики виробничих шихт окремо по бат. №5-8, №9 біс та №10 біс за квітень і травень місяць поточного року наведено в табл. 2.12-2.17.

Таблиця 2.12

Технологічні властивості виробничих шихт бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | | | Пластометричні показники, мм | |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-------|-----------|---------------------------------|------|
| | A^d | S_t^d | V^d | V^{daf} | x | y |
| квітень травень | - | | | | | |
| сер. | 8,2 | 1,70 | 26,4 | 28,7 | 41 | 19 |
| σ , % | 0,21 | 0,14 | 0,67 | 0,74 | 4,17 | 0,80 |
| $K_{вар}$, % | 2,6 | 8,4 | 2,6 | 2,6 | 10,2 | 4,2 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.13

Технологічні властивості виробничих шихт бат. № 9бис

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз,% | | | | Пластометричні показники, мм | |
|-----------------------------------|--------------------|---------|-------|-----------|---------------------------------|------|
| | A^d | S_t^d | V^d | V^{daf} | x | y |
| квітень | | | | | | |
| сер. | 8,2 | 1,17 | 28,8 | 31,4 | 50 | 13 |
| σ , % | 0,18 | 0,06 | 0,44 | 0,49 | 3,0 | 0,5 |
| $K_{вар}$, % | 2,2 | 5,0 | 1,5 | 1,6 | 6,0 | 3,6 |
| травень | | | | | | |
| сер. | 8,3 | 1,14 | 28,6 | 31,1 | 42,0 | 13,6 |
| σ , % | 0,18 | 0,04 | 0,63 | 0,68 | 3,3 | 0,5 |
| $K_{вар}$, % | 2,1 | 3,3 | 2,2 | 2,2 | 7,8 | 3,6 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.14

Технологічні властивості виробничих шихт бат. № 10бис

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз,% | | | | Пластометричні показники, мм | |
|-----------------------------------|--------------------|---------|-------|-----------|---------------------------------|------|
| | A^d | S_t^d | V^d | V^{daf} | x | y |
| квітень | | | | | | |
| сер. | 8,2 | 0,98 | 29,0 | 31,5 | 51 | 13 |
| σ , % | 0,10 | 0,06 | 0,49 | 0,53 | 2,0 | 0,42 |
| $K_{вар}$, % | 1,2 | 5,7 | 1,7 | 1,7 | 3,9 | 3,2 |
| травень | | | | | | |
| сер. | 8,4 | 0,99 | 28,8 | 31,4 | 42 | 14 |
| σ , % | 0,11 | 0,08 | 0,50 | 0,54 | 2,1 | 0,45 |
| $K_{вар}$, % | 1,3 | 7,8 | 1,7 | 1,7 | 4,9 | 3,3 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.15

Петрографічні характеристики виробничих шихт бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Сш,% | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок),% | | | | | Середній показник відбиття вітріниту, % | Стадії метаморфізму вітріниту, % | | | | | | |
|-----------------------------------|------|-------|-----------------------------------------------------|-------|------|------|------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣОК | | Ro | 0,50- | 0,65 - | 0,90- | 1,20- | 1,40- | 1,70 - |
| | | | | | | | | | | 0,64 | 0,89 | 1,19 | 1,39 | 1,69 | 2,59 |
| | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітріниту | | | | | | | |
| | | | | | | | | ДГ | Г | Ж | К | ПС | П | | |
| квітень - травень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 44,1 | 2,103 | 82 | 0 | 17 | 2 | 17 | 1,10 | 2 | 27 | 47 | 7 | 11 | 7 | |
| σ, % | 4,95 | 0,3 | 2,92 | 0,72 | 3,17 | 0,83 | 3,17 | 0,04 | 0,97 | 6,63 | 6,10 | 1,97 | 3,60 | 2,13 | |
| К _{вар} ,% | 11,2 | 16,0 | 3,6 | 214,8 | 19,0 | 55,5 | 19,0 | 3,9 | 55,5 | 24,6 | 13,0 | 26,9 | 33,5 | 32,3 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.16

Петрографічні характеристики виробничих шихт бат. № 9бис

| Місяць, статистичної оцінки | Сш,% | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок),% | | | | | Середній показник відбиття вітриніту, % | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------|----|------|------|------|-----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣOK | | Ro | 0,50-0,64 | 0,65 - 0,89 | 0,90-1,19 | 1,20-1,39 | 1,40-1,69 | 1,70 - 2,59 |
| | | | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту | | | | | |
| квітень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 37,1 | 1,370 | 71 | o | 26 | 3 | 26 | 1,00 | 2 | 40 | 50 | 2 | 2 | 4 | |
| σ, % | 3,85 | 0,2 | 1,27 | o | 1,45 | 0,66 | 1,45 | 0,03 | 1,12 | 5,01 | 5,23 | 0,83 | 1,50 | 1,90 | |
| К _{вар} ,% | 10,38 | 16,6 | 1,8 | o | 5,6 | 24,1 | 5,6 | 2,8 | 55,9 | 12,5 | 10,5 | 36,9 | 92,0 | 46,1 | |
| травень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 29,2 | 1,090 | 71 | o | 26 | 3 | 26 | 1,00 | 2 | 47 | 38 | 3 | 5 | 5 | |
| σ, % | 2,53 | 0,082 | 1,46 | o | 1,1 | o | 1,46 | 0,034 | 1,98 | 2,44 | 4,52 | 1,05 | 2,73 | 1,67 | |
| К _{вар} ,% | 8,6 | 7,5 | 2,1 | o | 5,0 | o | 5,6 | 3,4 | 86,6 | 5,2 | 11,9 | 30,6 | 54,5 | 35,3 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.17

Петрографічні характеристики виробничих шихт бат. № 10бис

| Місяць, статистичної оцінки | Сщ,% | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок),% | | | | | Середній показник відбиття вітриніту, % | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------|----|-----|------|-----|-----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣОК | | Ro | 0,50-0,64 | 0,65 - 0,89 | 0,90-1,19 | 1,20-1,39 | 1,40-1,69 | 1,70 - 2,59 |
| | | | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту | | | | | |
| квітень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 39,31 | 1,540 | 70 | o | 27 | 3 | 27 | 0,95 | 3 | 38 | 52 | 3 | 3 | 1 | |
| σ, % | 3,79 | 0,222 | 1,6 | o | 1,6 | o | 1,6 | 0,02 | 1,5 | 5,4 | 4,4 | 1,1 | 1,7 | 1,2 | |
| К _{вар} ,% | 9,6 | 14,4 | 2,3 | o | 6,1 | o | 6,1 | 1,8 | 72,4 | 14,0 | 8,4 | 35,6 | 54,9 | 109,0 | |
| травень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 29,33 | 1,130 | 70 | o | 28 | 3 | 28 | 0,96 | 2 | 49 | 37 | 5 | 6 | 1 | |
| σ, % | 4,11 | 0,155 | 1,1 | o | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,02 | 1,1 | 3,5 | 6,2 | 1,0 | 2,1 | 1,1 | |
| К _{вар} ,% | 14,0 | 13,7 | 1,6 | o | 5,4 | 19,3 | 5,4 | 1,7 | 53,5 | 7,1 | 16,1 | 21,9 | 33,7 | 106,9 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Відповідні шихтам, що розглядаються, показники якості, крупності і міцності виробничих коксів наведені в табл. 2.18-2.20.

Таблиця 2.18

Показники якості, крупності і міцності виробничих коксів бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | Вміст в металургійному коксі класу крупності більш 80 мм, % | Показники механічної міцності, % | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| | A ^d | S ^d _t | | M ₂₅ | M ₁₀ |
| квітень | - | | | | |
| травень | | | | | |
| сер. | 11,0 | 1,51 | 6,3 | 88,3 | 6,9 |
| σ, % | 0,16 | 0,10 | 0,77 | 0,14 | 0,06 |
| K _{вар} , % | 1,5 | 6,5 | 12,2 | 0,2 | 0,9 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.19

Показники якості, крупності і міцності виробничих коксів бат. №

9бис

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | Вміст в металургійному коксі класу крупності більш 80 мм, % | Показники механічної міцності, % | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| | A ^d | S ^d _t | | M ₂₅ | M ₁₀ |
| квітень | | | | | |
| сер. | 10,8 | 1,12 | 4,4 | 87,5 | 6,0 |
| σ, % | 0,12 | 0,07 | 1,3 | 0,23 | 0,38 |
| K _{вар} , % | 1,1 | 6,7 | 30,5 | 0,3 | 6,4 |
| травень | | | | | |
| сер. | 11,1 | 1,09 | 2,5 | 87,1 | 6,0 |
| σ, % | 0,09 | 0,03 | 0,5 | 0,05 | 0,07 |
| K _{вар} , % | 0,8 | 2,7 | 20,6 | 0,1 | 1,2 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.20

Показники якості, крупності і міцності виробничих коксів бат.

№10бис

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз,% | | Вміст металургійному коксі класу крупності більш 80 мм,% | Показники механічної міцності, % | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | A ^d | S ^d _t | | M ₂₅ | M ₁₀ |
| квітень | | | | | |
| сер. | 10,7 | 0,93 | 3,3 | 89,4 | 5,1 |
| σ, % | 0,10 | 0,09 | 1,2 | 0,64 | 0,33 |
| K _{вар} , % | 0,9 | 10,1 | 36,4 | 0,7 | 6,4 |
| травень | | | | | |
| сер. | 10,9 | 0,91 | 1,5 | 89,0 | 5,8 |
| σ, % | 0,12 | 0,03 | 0,26 | 0,1 | 0,18 |
| K _{вар} , % | 1,1 | 2,8 | 16,6 | 0,1 | 3,1 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Аналіз технологічних даних за квітень і травень показує таке.

Технологічні властивості виробничої шихти бат. №5-8 в аналізованій період коливаються дуже незначно, про що свідчать низькі значення коефіцієнтів варіації (2,6-10,2%). На відміну від технологічних властивостей петрографічні характеристики коливаються помітніше. Так, величина коефіцієнтів варіації для комплексних петрографічних характеристик Сш (спікання шихти), Кш (коксуємість шихти) та середнього показника відображення вітриніту склали відповідно 11,2, 16,0 та 3,9 %. Однак абсолютні значення цих коефіцієнтів варіації не такі великі, щоб привести до істотної коливання властивостей коксу, що отримується з них.

Дійсно, величини коефіцієнтів варіації властивостей коксу в цілому набагато менше, ніж у відповідних шихт, що можна пояснити і невисокою

коливання властивостей шихти, і усередненням, що має місце в самій вугільній вежі і при наборі шихти в вагон.

У зв'язку з викладеним можна констатувати, що шихта має такі показники якості: $V^{\text{daf}} = 28,7 \pm 0,74\%$; $y = 19 \pm 1$ мм; $R_0 = 1,10 \pm 0,04\%$; $C_{\text{ш}} = 44,1 \pm 4,95\%$ і $K_{\text{ш}} = 2,103 \pm 0,34$ в умовах підготовки, що існує в ВПЦ-1, і режиму коксування на батареях №5-8, забезпечить отримання коксу з показниками $M_{25} = 88,3 \pm 0,14\%$; $6,3 \pm 0,8\%$. Показники реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності (CSR) за аналізований період склали величини, рівні 46% і 33% відповідно. Рівень значень зазначених показників обумовлений високим вмістом сірки в коксі та несприятливим хімічним складом його золи, що містить підвищену кількість оксидів заліза, натрію та калію.

Технологічні властивості шихти бат. №9 біс, як і шихти бат. №5-8, характеризуються вкрай низькими значеннями коефіцієнтів варіації (1,6 - 7,8 %), які залишалися стабільно низькими як у квітні, і у травні місяці.

Середні значення показників властивостей шихти бат. № 9 біс істотно відрізняються від тих же для шихти бат. №5-8. Це насамперед нижче значення товщини пластичного шару ($y = 13$ мм замість 19 мм); підвищений вихід летких речовин ($V^{\text{daf}} = 31,4$ замість 28,7%). Помітно нижче в шихті бат. №9 біс вміст сірки ($S_t^{\text{d}} = 1,17$ і 1,70% відповідно). Петрографічні характеристики шихти бат. №9 біс перебувають у рівні, що з використанням звичайної технології коксування не дозволяє отримувати кокс задовільного якості. Справді, значення $C_{\text{ш}}$ становлять величину, що дорівнює 29,2-37,1%, $K_{\text{ш}} - 1,090-1,370$. У той самий час шихта бат. №5-8, як зазначалося вище, має значення цих показників $C_{\text{ш}} = 44,1\%$ і $K_{\text{ш}} = 2,103$, що майже в 1,5 рази більше, ніж у шихт бат. Коливання петрографічних характеристик і, зокрема, показників $C_{\text{ш}}$, $K_{\text{ш}}$ і R_0 у квітні місяці можна порівняти з коливанням цих же показників шихти ВПЦ-1. Однак у травні відзначається відчутне зниження коефіцієнтів варіації за показником $C_{\text{ш}}$ і особливо показника $K_{\text{ш}}$ (з 16,6% у квітні до 7,5% у травні місяці). Середній показник відображення вітриніту шихти й у квітні, і травні становив величину, рівну 1,00 %. У водночас рефлектограми вітриніту у квітні та травні відрізнялися досить помітно, що

відбилося на деякому погіршенні показника M_{25} з 87,5 % у квітні до 87,1 % у травні місяці.

Аналіз рефлектограм показує, що у складі вітриніту переважають складові, по стадії метаморфізму відповідні газовим вугіллям (42-49%).

Отримання коксу досить високої якості особливо за показником M_{10} з шихт, що розглядаються, зі зниженою спікливою, що містять в органічній масі до 30% інертних складових, можливе тільки при використанні технології трамбування і тонкому подрібненні (зміст кл. 3-0 мм не менше 90%) шихти. Підвищення насипної щільності шихти при трамбуванні покращує контакти деструктуючих вугільних зерен, сприяючи тим самим утворенню додаткової кількості хімічних зв'язків і розвитку поліконденсаційних процесів у залишковому матеріалі вугільної речовини, що йшов термічну деструкцію. Таким чином, з шихти, що мають наступні рівні показовий якості: $V^{daf} = 31,1 - 31,4\%$; $y = 13 - 14$ мм; $R_0 = 1,00\%$; $C_{ш} = 29,2 - 37,1\%$ і $K_{ш} = 1,09 - 1,37$ при використанні існуючої технології трамбування та прийнятому режимі коксування в КЦ-3 можливе отримання коксу з показниками $M_{25} = 87,1 - 87,5\%$; $M_{10} = 6,0\%$.

Середнє значення реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності (CSR) коксу бат.№9 біс у квітні склали 41,9% та 36,4% відповідно. Розмір цих показників трохи краще, ніж в коксу бат. №5-8, що обумовлено головним чином меншим вмістом сірки в коксі бат. №9 ($S_t^d = 1,09-1,12\%$ проти 1,51%).

Технологічні властивості шихти бат. №10 біс близькі до тих же для шихти бат. №9 біс. Можна відзначити лише трохи менший вміст сірки у шихті бат. №10 ($S_t^d = 0,98 - 0,99\%$) проти шихтою бат. №9 біс ($S_t^d = 1,14 - 1,17\%$). Стабільність показників технологічних властивостей дуже висока, що свідчать максимальні значення коефіцієнтів варіації, які перевищують значень, рівних 8%.

Петрографічні характеристики шихт бат.№9 і 10 біс також дуже близькі. Однак у порівняних періодах величина показників $C_{ш}$ і $K_{ш}$ шихти батареї № 1 Про біс дещо вище, ніж величина аналогічних показників шихти бат. №9 біс. Коливання основних показників $C_{ш}$ і $K_{ш}$ досить велика. Так, для показника $C_{ш}$ коефіцієнт варіації становив 9,6 – 14,0%, а для показника $K_{ш}$ – 13,7 – 14,4%.

Середній показник від ураження вітриніту коливається незначно ($K_{\text{вар}} = 1,7 - 1,8\%$). Високі ступеня коливання змісту окремих складових вітриніту характерні тільки для тих з них, вміст яких не перевищує 10 %.

У вітриніті шихт, що розглядаються, у найбільшій кількості представлені складові, по стадії метаморфізму відповідні вугіллю марок «Г» і «Ж». Пайова участь цих складових коливається в межах 85 - 90%. Коефіцієнти варіації саме цих складових невеликі порівняно з коефіцієнтами варіації інших шихт.

Отриманий на бат. №10 біс кокс характеризується високими показниками фізико-механічної міцності. Показник дроблення M_{25} становив у квітні 89,4%, а в травні -89,0%, а показник стирання M_{10} - 5,1% і 5,8% відповідно. Погіршення характеристик міцності коксу в травні викликано погіршенням властивостей шихти, яке знайшло відображення в зниженні в травні місяці рівня комплексних петрографічних характеристик $C_{\text{Ш}}$ з 39,31% до 29,33% і $K_{\text{Ш}}$ 1,540 до 1,130.

Рівень показників фізико-механічної міцності коксу бат. №10 біс порівняно з коксом бат. №9 біс помітно вище. Так, у квітні середні значення показників M_{25} та M_{10} коксу бат. №10 біс склали 89,4 і 5,1 % відповідно, а коксу бат.№9 біс вони були лише на рівні 87,5 і 6,0 %. У травні місяці показники якості коксу бат. №10 біс дещо погіршилися ($M_{25} = 89,0\%$; $M_{10} = 5,8\%$) через погіршення властивостей шихти, однак і в цьому випадку були помітно краще, ніж у коксу бат.№9 біс ($M_{25} = 87,1\%$); Різниця за показником M_{25} становить 1,9%, а за показником M_{10} -0,6 – 0,2%.

При досить близьких значеннях показників якості шихти на батареях №9 і №10 біс, зазначена вище різниця показників міцності, одержуваних з цих шихт коксів, може бути пояснена наявністю у складі комплексу батареї №10 біс установки сухого гасіння коксу, де за рахунок ізотермічної витримки у форкамері УСГК.

Таким чином, із шихти з показниками $V^{\text{daf}} = 31,4 - 31,5\%$; $y = 13 - 14$ мм; $R_0 = 0,95 - 0,96\%$; $C_{\text{Ш}} = 39,31 - 29,33\%$ і $K_{\text{Ш}} = 1,540-1,130$ на батареї №10 біс з використанням технології трамбування та сухого гасіння коксу при існуючому

теплотехнічному режимі коксування може бути отриманий кокс з наступними характеристиками міцності: $M_{25} = 89,0-89$; $M_{10} = 51-58\%$.

Показники реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності (CSR) склали у квітні місяці 38,8% та 44,7% відповідно. За рівнем значень аналізованих показників кокс батареї № 10біс найбільш близький до тих, які відповідають сучасним вимогам доменного виробництва за відсутності установок з вдування пиловугільного палива (CRI 30%; CSR 50%).

Робота з аналізу впливу коливання компонентного складу, якісних показників шихти на якість доменного коксу була продовжена у серпні-листопаді поточного року.

Середні місячні дані про технологічні властивості та петрографічні характеристики, а також статистична оцінка їх коливання для виробничих шихт по чергах заводу наведено в таблицях 2.21 – 2.24. У таблиці 2.21 наведено середньомісячні дані про технологічні властивості шихти ВПЦ-1. Аналіз показує, що середні значення зольності за період, що розглядається, змінювалися в межах 8,0-8,4%, вміст сірки-1,28-1,45%, виходу летких речовин (V^{daf})-27,7-28,9%, товщина пластичного шару 17,1-18,5мм. Найбільша вага встановлена для вмісту сірки, про що свідчать відносно високі значення коефіцієнта варіації 5,8-13,0%. Для інших показників коефіцієнт варіації зазвичай має значення менше 9%. Все це свідчить про стабільність технологічних показників шихти бат.№5-8. Деякі петрографічні характеристики, як це зазначалося, характеризуються більшою коливанням, ніж технологічні показники. Це стосується петрографічного складу та рефлектограми вітриніту. У той же час коливання основних петрографічних характеристик (R_o , ΣOK , Сш і Кш) не така велика, хоча за абсолютними значеннями коефіцієнти варіації для цих показників дещо вищі, ніж у більшості технологічних характеристик.

Середні значення показника відбиття вітриніту змінюються в межах 1,04 - 1,09%, суми мацералів (ΣOK), що оточають, в межах 18 - 23%, показника спікливості Сш- 40,10 - 47,27% і показника Кш - 1,901 - 2.

Таким чином, дані про властивості виробничих шихт, за серпень-листопад дуже близькі до тих, які були отримані в квітні-травні цього року. У зв'язку з цим і якість одержуваного в серпні-листопаді коксу має бути близько до того ж у коксу, отриманого в травні-квітні. Дійсно наведені в табл.2.25 показники якості крупності та міцності виробничого коксу бат №5-8 за період серпень-листопад підтверджують цей висновок. Так зольність коксу склала в цей період величину, рівну 11,1 - 11,3%, вміст сірки було в межах 1,20 - 1,31%, вміст класу більше 80мм - 5,5 - 7,5%, дробимості M_{25} -87,2 - 88,2%, стираності – 6,9%.

Аналіз даних про технологічні властивості та петрографічні характеристики виробничих шихт ВПЦ-2 за аналізований період показує наступне. Середні значення показників технологічних властивостей зберігаються практично на одному рівні на протязі всього аналізованого періоду. Коливання цих показників низька, що підтверджується невисокими значеннями коефіцієнта варіації, величина якого не перевищує 10%. при цьому максимальні значення цього показника характерні змісту сірки. Загалом для шихти ВПЦ-2 характерні низькі значення вмісту сірки ($S^d_t = 0,99-1,02\%$) та товщини пластичного шару ($y=13,6-14,1\text{мм}$), які помітно нижчі, ніж у шихти ВПЦ-1. У той же час вихід летких речовин помітно вищий за $V^{daf} = 31,0-31,7\%$ замість 27,7-28,9% у шихти УПЦ-1.

Петрографічні характеристики, такі, як і петрографічний склад, і рефлектограми вітриніту, як і для шихти ВПЦ-1, схильні до значних коливань. Основні параметри коливаються значно менше. Так середні значення показника відображення вітриніту (R_o) склала 0,97 - 0,98%, при цьому коефіцієнти варіації були в межах 1,8 - 3,6%; показник спекаемости (Сш) коливався в інтервалі 31,59 - 34,32 з коефіцієнтами варіації 6,0 - 10,5%, а показник коксування Кш був у межах 1,349 - 1,440 з коефіцієнтом варіації від 6,0 до 9,1%.

Незважаючи на помітно гірші технологічні показники та петрографічні характеристики шихти ВПЦ-2, застосування технології трамбування шихти дозволяє отримувати кокс на бат №9 та 10 біс помітно краще за характеристиками міцності, ніж кокс із шихти ВПЦ-1 на батареях №5-8.

Справді, середні значення показника M_{25} для коксу батареї №9 біс змінюються в межах 86,8 - 87,8 %, а показника стираності M_{10} від 5,8 до 5,9 %.

У коксу батареї № 10біс рівень значень зазначених показників помітно вище і становить за показником M_{25} величину, що дорівнює 88,4 - 89,8 %, а за показником M_{10} - 5,4 - 5,7%, що пояснюється додатковою термічною та механічною обробкою коксу при проходженні його через установку.

Показники реакційної здатності CRI і післяреакційної міцності CSR коксу в період (табл.2.25 і 2.26) змінювалися наступним чином. Для коксу батареї №5-8 середні значення показника CRI коливалися в межах 40,71 - 42,83% за величиною коефіцієнта варіації 2,9 - 5,1%, а величина показника CSR змінювалася від 39,59 до 42,30% за значеннях коефіцієнта варіації 3,9 - 6,3%. Це говорить про стійкість величини аналізованих параметрів і про те, що в умовах існуючої в ВПЦ-1 сировинної бази коксування забезпечити виробництво металургійного коксу, що відповідає за параметрами CRI та CSR сучасним вимогам доменного виробництва, неможливо.

Слід зазначити, що в період, що описується, помітно знизився вміст сірки в шихті порівняно з квітнем-травнем, що і зумовило, головним чином, поліпшення показників CRI і CSR.

Кокс батареї №9 і №10 біс характеризувався такими величинами аналізованих показників (табл. 2.27).

Середні значення реакційної здатності CRI та післяреакційної міцності CSR протягом періоду, що розглядається, практично не змінювалися і становили 38,22 - 38,40 % для показника CRI і 45,24 - 45,47 % для показника CSR. Коефіцієнти варіації для цих показників не перевищили величини, що дорівнює 3,5 %, що свідчить про їх незначну коливання. Це обумовлено сталістю вугільної сировинної бази ВПЦ-2 та стабільним режимом коксування.

Таблиця 2.21

Технологічні властивості виробничих шихт бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | | | Пластометричні показники, мм | |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-------|-----------|---------------------------------|------|
| | A^d | S_t^d | V^d | V^{daf} | x | y |
| серпень | | | | | | |
| сер. | 8,2 | 1,28 | 26,0 | 28,3 | 33,5 | 17,1 |
| σ , % | 0,12 | 0,17 | 0,85 | 0,96 | 2,1 | 1,51 |
| $K_{вар}$, % | 1,4 | 13,0 | 3,3 | 3,4 | 6,2 | 8,8 |
| вересень | | | | | | |
| сер. | 8,0 | 1,45 | 25,5 | 27,7 | 31,6 | 17,8 |
| σ , % | 0,10 | 0,08 | 0,63 | 0,69 | 1,46 | 1,26 |
| $K_{вар}$, % | 1,3 | 5,8 | 2,5 | 2,5 | 4,6 | 7,1 |
| жовтень | | | | | | |
| сер. | 8,4 | 1,43 | 26,5 | 28,9 | 33,3 | 17,8 |
| σ , % | 0,15 | 0,13 | 0,38 | 0,41 | 1,45 | 0,66 |
| $K_{вар}$, % | 1,8 | 8,8 | 1,5 | 1,4 | 4,3 | 3,7 |
| листопад | | | | | | |
| сер. | 8,3 | 1,36 | 25,9 | 28,9 | 30,3 | 18,5 |
| σ , % | 0,07 | 0,12 | 0,71 | 1,74 | 1,48 | 0,50 |
| $K_{вар}$, % | 0,8 | 8,5 | 2,7 | 6,0 | 4,9 | 2,7 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.22

Технологічні властивості виробничих шихт бат. № 9 та 10

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | | | Пластометричні показники, мм | |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-------|-----------|---------------------------------|------|
| | A^d | S_t^d | V^d | V^{daf} | x | y |
| серпень | | | | | | |
| сер. | 8,3 | 1,00 | 28,4 | 31,0 | 35,3 | 14,1 |
| σ , % | 0,12 | 0,09 | 0,77 | 0,86 | 1,74 | 0,77 |
| $K_{вар}$, % | 1,4 | 9,4 | 2,7 | 2,8 | 4,9 | 5,5 |
| вересень | | | | | | |
| сер. | 8,4 | 1,02 | 28,1 | 31,0 | 34,7 | 14,0 |
| σ , % | 0,20 | 0,06 | 0,69 | 1,10 | 1,20 | 0,34 |
| $K_{вар}$, % | 2,3 | 5,6 | 2,5 | 3,5 | 3,4 | 2,4 |
| жовтень | | | | | | |
| сер. | 8,5 | 0,99 | 29,0 | 31,7 | 34,1 | 13,9 |
| σ , % | 0,07 | 0,04 | 0,66 | 0,74 | 1,28 | 0,64 |
| $K_{вар}$, % | 0,9 | 3,8 | 2,3 | 2,3 | 3,8 | 4,6 |
| листопад | | | | | | |
| сер. | 8,4 | 0,99 | 28,7 | 31,3 | 35,7 | 13,6 |
| σ , % | 0,04 | 0,09 | 0,77 | 0,84 | 1,21 | 0,48 |
| $K_{вар}$, % | 0,5 | 8,6 | 2,7 | 2,7 | 3,4 | 3,5 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Петрографічні характеристики виробничих шихт бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Сш,% | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок),% | | | | | Середній показник відбиття вітритіту, % | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------------------|------|-------|------|------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣОК | | Ro | 0,50- 0,64 | 0,65 - 0,89 | 0,90- 1,19 | 1,20- 1,39 | 1,40- 1,69 | 1,70 - 2,59 |
| | | | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту | | | | | |
| | | | | | | | | ДГ | Г | Ж | К | ПС | П | | |
| серпень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 42,85 | 1,902 | 77 | 0 | 22 | 2 | 22 | 1,07 | 2 | 29 | 40 | 16 | 11 | 2 | |
| σ, % | 3,11 | 0,29 | 2,91 | 0,00 | 2,74 | 0,49 | 2,74 | 0,04 | 1,04 | 3,74 | 7,32 | 4,33 | 3,53 | 1,05 | |
| К _{вар} ,% | 7,3 | 15,5 | 3,8 | 0,0 | 12,6 | 31,5 | 12,6 | 4,0 | 44,2 | 13,1 | 18,5 | 26,7 | 32,3 | 43,2 | |
| вересень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 47,18 | 1,932 | 75 | 0 | 24 | 1 | 23 | 1,07 | 2 | 24 | 47 | 16 | 10 | 2 | |
| σ, % | 2,51 | 0,20 | 2,17 | 0,00 | 1,83 | 0,42 | 1,92 | 0,03 | 0,83 | 2,62 | 4,54 | 2,49 | 1,75 | 0,42 | |
| К _{вар} ,% | 5,3 | 10,1 | 2,9 | 0,0 | 7,8 | 34,0 | 8,2 | 2,4 | 55,6 | 11,0 | 9,7 | 15,6 | 17,9 | 18,7 | |
| жовтень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 40,10 | 2,040 | 81 | 0 | 18 | 1 | 18 | 1,08 | 3 | 30 | 32 | 18 | 15 | 3 | |
| σ, % | 1,59 | 0,13 | 1,20 | 0,00 | 1,1,2 | 0,43 | 1,12 | 0,02 | 0,58 | 1,36 | 6,26 | 5,00 | 2,40 | 0,63 | |
| К _{вар} ,% | 4,0 | 6,2 | 1,5 | 0,0 | 6,2 | 34,6 | 6,2 | 1,6 | 21,7 | 4,5 | 19,7 | 28,1 | 16,5 | 22,6 | |
| листопад | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 47,27 | 2,191 | 78 | 0 | 21 | 1 | 21 | 1,09 | 3 | 22 | 40 | 21 | 13 | 2 | |
| σ, % | 2,68 | 0,17 | 1,92 | 0,00 | 1,92 | 0,00 | 1,92 | 0,03 | 0,93 | 4,79 | 4,06 | 1,90 | 1,85 | 0,66 | |
| К _{вар} ,% | 5,7 | 7,5 | 2,5 | 0,0 | 9,3 | 0,0 | 9,3 | 2,6 | 29,7 | 22,0 | 10,2 | 9,1 | 14,5 | 37,8 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.24

Петрографічні характеристики виробничих шихт бат. №9 та 10

| Місяць, статистичної оцінки | Сш,% | Кш | Петрографічний склад (без мінеральних домішок),% | | | | | Середній показник відбиття вітритіту, % | Стадії метаморфізму вітриніту, % | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | | | Vt | Sv | I | L | ΣOK | | Ro | 0,50- 0,64 | 0,65 - 0,89 | 0,90- 1,19 | 1,20- 1,39 | 1,40- 1,69 | 1,70 - 2,59 |
| | | | | | | | | | | Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту | | | | | |
| | | | | | | | | ДГ | Г | Ж | К | ПС | П | | |
| серпень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 33,55 | 1,440 | 73 | o | 24 | 3 | 24 | 0,97 | 5 | 42 | 38 | 8 | 6 | 2 | |
| σ, % | 2,76 | 0,11 | 1,29 | 0,00 | 1,20 | 0,40 | 1,20 | 0,03 | 1,07 | 5,67 | 3,38 | 0,95 | 1,89 | 0,62 | |
| К _{вар} ,% | 8,2 | 7,3 | 1,8 | 0,0 | 5,0 | 14,3 | 5,0 | 3,6 | 23,0 | 13,4 | 9,0 | 11,3 | 33,8 | 40,3 | |
| вересень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 34,32 | 1,433 | 73 | o | 24 | 3 | 24 | 0,98 | 4 | 40 | 40 | 7 | 6 | 2 | |
| σ, % | 3,60 | 0,13 | 2,65 | 0,00 | 2,61 | 0,39 | 2,61 | 0,03 | 1,22 | 4,34 | 6,36 | 1,30 | 2,19 | 0,94 | |
| К _{вар} ,% | 10,5 | 9,1 | 3,6 | 0,0 | 10,8 | 13,8 | 10,8 | 3,1 | 27,4 | 10,8 | 15,9 | 18,1 | 37,4 | 43,0 | |
| жовтень | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 31,59 | 1,349 | 73 | o | 24 | 3 | 24 | 0,97 | 7 | 42 | 36 | 8 | 6 | 2 | |
| σ, % | 1,89 | 0,08 | 2,65 | 0,00 | 2,15 | 0,59 | 2,17 | 0,02 | 2,70 | 1,83 | 3,21 | 0,49 | 1,29 | 0,70 | |
| К _{вар} ,% | 6,0 | 6,0 | 3,6 | 0,0 | 8,9 | 20,3 | 9,0 | 2,5 | 39,8 | 4,4 | 9,0 | 6,5 | 23,2 | 34,0 | |
| листопад | | | | | | | | | | | | | | | |
| сер. | 34,07 | 1,421 | 74 | o | 24 | 2 | 24 | 0,98 | 9 | 35 | 39 | 7 | 7 | 3 | |
| σ, % | 3,14 | 0,11 | 2,71 | 0,00 | 2,73 | 0,60 | 2,73 | 0,02 | 3,21 | 5,20 | 6,00 | 0,64 | 0,98 | 0,57 | |
| К _{вар} ,% | 9,2 | 7,5 | 3,7 | 0,0 | 11,4 | 30,2 | 11,4 | 1,8 | 35,0 | 14,8 | 15,4 | 8,7 | 14,8 | 20,4 | |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.25

Показники якості, крупності, міцності реакційної здатності і післяреакційної міцності бат. № 5-8

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | Вміст в металургійному коксі класу крупності більше 80 мм, % | Показники механічної міцності, % | | Індекси реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу, % | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| | A ^d | S _t ^d | | M ₂₅ | M ₁₀ | CRI | CSR |
| серпень | | | | | | | |
| сер. | 11,2 | 1,20 | 5,9 | 87,2 | 6,9 | 40,71 | 42,30 |
| σ, % | 0,18 | 0,14 | 0,95 | 0,14 | 0,06 | 2,075 | 2,647 |
| K _{вар} , % | 1,7 | 11,5 | 16,2 | 0,2 | 0,9 | 5,1 | 6,3 |
| вересень | | | | | | | |
| сер. | 11,1 | 1,31 | 6,9 | 87,5 | 6,9 | 42,63 | 39,85 |
| σ, % | 0,17 | 0,06 | 1,98 | 0,30 | 0,06 | 1,233 | 1,571 |
| K _{вар} , % | 1,5 | 4,7 | 28,7 | 0,3 | 0,8 | 2,9 | 3,9 |
| жовтень | | | | | | | |
| сер. | 11,1 | 1,27 | 5,5 | 88,2 | 6,9 | 42,83 | 39,59 |
| σ, % | 0,20 | 0,10 | 0,85 | 0,22 | 0,08 | 1,526 | 1,946 |
| K _{вар} , % | 1,8 | 7,7 | 15,4 | 0,2 | 1,2 | 3,6 | 4,9 |
| листопад | | | | | | | |
| сер. | 11,3 | 1,25 | 7,5 | 88,2 | 6,9 | 41,66 | 41,09 |
| σ, % | 0,15 | 0,07 | 1,34 | 0,16 | 0,07 | 1,548 | 1,976 |
| K _{вар} , % | 1,3 | 5,4 | 17,8 | 0,2 | 1,0 | 3,7 | 4,8 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.26

Показники якості, крупності, міцності реакційної здатності і післяреакційної міцності бат. № 9

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз,% | | Вміст металургійному коксі класу крупності більше 80 мм, % | Показники механічної міцності, % | | Індекси реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу, % | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|-------|
| | A ^d | S _t ^d | | M ₂₅ | M ₁₀ | CRI | CSR |
| серпень | | | | | | | |
| сер. | 11,2 | 0,95 | 3,2 | 87,8 | 5,8 | 38,22 | 45,47 |
| σ, % | 0,17 | 0,11 | 0,92 | 0,72 | 0,12 | 0,944 | 1,206 |
| K _{вар} , % | 1,5 | 11,3 | 28,4 | 0,8 | 2,1 | 2,5 | 2,7 |
| вересень | | | | | | | |
| сер. | 11,3 | 1,01 | 5,5 | 87,5 | 5,9 | 38,34 | 45,30 |
| σ, % | 0,11 | 0,04 | 1,50 | 0,21 | 0,14 | 0,798 | 1,018 |
| K _{вар} , % | 0,9 | 4,4 | 27,5 | 0,2 | 2,4 | 2,1 | 2,2 |
| жовтень | | | | | | | |
| сер. | 11,3 | 1,00 | 3,8 | 86,8 | 5,9 | 38,40 | 45,24 |
| σ, % | 0,17 | 0,04 | 1,07 | 0,18 | 0,11 | 0,591 | 0,750 |
| K _{вар} , % | 1,5 | 3,6 | 28,0 | 0,2 | 1,8 | 1,5 | 1,7 |
| листопад | | | | | | | |
| сер. | 11,4 | 1,00 | 6,2 | 86,8 | 5,9 | 38,32 | 45,34 |
| σ, % | 0,07 | 0,03 | 1,70 | 0,11 | 0,05 | 1,244 | 1,585 |
| K _{вар} , % | 0,7 | 2,6 | 27,6 | 0,1 | 0,8 | 3,2 | 3,5 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Таблиця 2.27

Показники якості, крупності, міцності реакційної здатності і післяреакційної міцності бат. № 10

| Місяць, статистичної оцінки | Технічний аналіз, % | | Вміст в металургійному коксі класу крупності більше 80 мм, % | Показники механічної міцності, % | | Індекси реакційної здатності і післяреакційної міцності коксу, % | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|-------|
| | A ^d | S _t ^d | | M ₂₅ | M ₁₀ | CRI | CSR |
| серпень | | | | | | | |
| сер. | 11,2 | 0,96 | 3,2 | 89,8 | 5,5 | 38,22 | 45,47 |
| σ, % | 0,10 | 0,08 | 0,50 | 3,02 | 0,23 | 0,944 | 1,206 |
| K _{вар} , % | 0,9 | 8,0 | 15,6 | 3,4 | 4,2 | 2,5 | 2,7 |
| вересень | | | | | | | |
| сер. | 11,4 | 1,03 | 2,5 | 88,7 | 5,7 | 38,34 | 45,30 |
| σ, % | 0,14 | 0,04 | 0,51 | 0,25 | 0,11 | 0,798 | 1,018 |
| K _{вар} , % | 1,2 | 3,4 | 20,1 | 0,3 | 1,9 | 2,1 | 2,2 |
| жовтень | | | | | | | |
| сер. | 11,3 | 0,98 | 3,0 | 88,4 | 5,7 | 38,40 | 45,24 |
| σ, % | 0,13 | 0,03 | 0,51 | 0,36 | 0,13 | 0,591 | 0,750 |
| K _{вар} , % | 1,1 | 3,1 | 17,2 | 0,4 | 2,3 | 1,5 | 1,7 |
| листопад | | | | | | | |
| сер. | 11,3 | 1,02 | 3,5 | 89,0 | 5,4 | 38,32 | 45,34 |
| σ, % | 0,05 | 0,02 | 0,51 | 0,40 | 0,20 | 1,244 | 1,585 |
| K _{вар} , % | 0,4 | 2,4 | 14,5 | 0,5 | 3,8 | 3,2 | 3,5 |

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Порівняння даних CRI і CSR за квітень-травень з даними за серпень-листопад показує, що величина значення цих показників залишається постійною.

Слід зазначити, що у зв'язку з пуском установок з вдування пиловугільного палива в доменному цеху Алчевського меткомбінату, рівень показників CRI і CSR, що існує, не дозволить забезпечити ефективну роботу зазначених установок. Для вирішення цієї проблеми необхідно радикально змінити склад вугільних шихт, щоб гарантувати отримання коксу з показниками $CRI = 25 - 30\%$ і $CSR = 55 - 60\%$.

Таким чином, проведений аналіз коливання якісних показників шихти в період серпень - листопад поточного року показав, що отримані значення коефіцієнтів варіації, що дають кількісну оцінку коливання, у більшості цих показників не перевищує величини, що дорівнює 10 %.

Такі низькі значення коефіцієнтів варіації показників властивостей шихт забезпечують високу стабільність таких показників якості коксу, як його зольність, вміст сірки, показників міцності M_{25} та M_{10} , а також показників CRI та CSR. Високі значення коефіцієнта варіації для вмісту в коксі класу крупності більше 80 мм швидше за все обумовлені невисокою ефективністю відсіву великих класів на пристроях, що відсіють, обумовленою його малою кількістю і стовпчастою структурою шматків.

ВИСНОВКИ

Моделі прогнозування якості коксу мають власну складність, оскільки результати пов'язані зі специфічними характеристиками вугілля, які відрізняються залежно від країни та в межах країни. Отже, моделі змінювалися з часом, оскільки розвивався ринок вугілля, технології видобутку та збагачення, а також технологія коксохімічного заводу та вимоги до доменної печі.

По-перше, багато інших дослідників взяли за основу діаграми Шапіро-Грея, що поєднують петрографічні змінні з міцністю коксу за кімнатної температури, модифікуючи процедуру, щоб включити особливості вугілля з інших країн та різні випробування на холодну міцність (випробування MICUM та IRSID у Європі, DI150/30 у Японії).

Потім реологію вводили різними способами, щоб врахувати пряме вимірювання поведінки вугілля під час коксування.

Пізніше, з тенденцією до великих доменних печей та коксування за низьких температур, прогнозування поведінки коксу за високих температур стало обов'язковим, тому дослідники працювали над різними способами отримання цього прогнозу.

Нарешті, схеми оптимізації допомогли в кращому виборі сировини, враховуючи повну цінність ланцюга в деяких випадках або лише ціну та якість коксу в інших випадках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. W.R. Leeder, International coking coal market trends, 2002 Ironmaking Conference Proceedings, pp 447-450.
2. M. Elliot, Coke stability from petrographic analysis of coal based on work of Shapiro and Gray), Chemistry of Coal Utilization, Second Supplementary Volume, pp. 146-154.
3. D. Kaegi, Predicting coking stability from coal petrographic analysis, 1981 Ironmaking Conference Proceedings, pp 381-392
4. J. Harrison, H. Jackman, J. Simon, Predicting coke stability from petrographic analysis of Illinois coals. Illinois State Geological Survey, Circular 36, 1964, pp 1-24.
5. R. Gadsden, R. Wilson, Evaluation of Australian coals and cokes for larges blast furnace. 1981 Ironmaking Conference Proceedings, pp 400- 407
6. G. Juranek, Evaluation of coals using the factor "G". 1979 Ironmaking Conference Proceedings, pp 371-384.
7. W.R. Leeder, J.E. Gransden, J.T. Price, J.C. Botham, Prediction of coke quality with special reference to Canadian coals. Ironmaking Conference Proceedings, Volume 38, 1979, pp 385-397.
8. M.A. Diez, R. Blvarez Garcia, C. Barriocanal, Coal for metallurgical coke predictions of coke quality and future requirements for cokemaking. International Journal of Coal Geology 50 (2002), pp 389-412.
9. P. Jordan, Predicting coke quality based on coal petrography, rheology and coke petrography. Master thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, 2006.
10. W.R. Leeder, T. Todoschuk, C. Howey, L. Giroux, K.W. Ng, T. MacPhee, Predictive model for blending coking coals to produce high strength coke. METEC & 2nd ESTAD, Dьsseldorf, Germany, June 2015, pp 1-9.
11. M. Sakawa, T. Yamaguchi, Y. Sakurai, T. Okuhara, Selection and evaluation of blends for cokemaking. 1st International Meeting on Coal and Coke Applied to Ironmaking - ABM, Rio de Janeiro, Brazil, 1987, pp 169-184.

12. R. Munnix, Compound of coal blends based on a coke strength prediction model. 1st International Meeting on Coal and Coke Applied to Ironmaking - ABM, Rio de Janeiro, Brazil, 1987, pp 209-250.

13. H. Valia, Prediction of coke strength after reaction with CO₂ from coal analyses at Inland Steel Company. Transactions of the ISS, May 1989, I&SM, pp 77 a 87.

14. B.D Ryan, J.T. Price J.T., The predicted coke strength after reaction value of British L. coals, with comparisons to international coal. British Columbia Survey, Geological Fieldwork 1992, Paper 1993-1, pp 507-516.

15. S. Maharana, B. Biswas, A. Ganguly, A. Kumar, Artificial neural network prediction for coke strength after reaction and data analysis. International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering Vol 4, No. 9, 2010.

16. A. Suresh, T. Ray, P. S. Dash and P. K. Banerjee, Prediction of coke quality using adaptive neurofuzzy inference system. Ironmaking and Steelmaking 2012 Vol. 39 No. 5 363-369.

17. A. Haueisen, F. Ferreira, L. Dimas, L. Costa, The benefits of using an optimization tool at Usiminas. 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking - ICSTI, October 2012, Rio de Janeiro, Brazil, pp 2236-2244.

18. <http://steel.n-side.com/pdf/benefits.pdf> accessed February 2016.

19. J. Perkins, B. Molnar, V. King, J. Quanci, Coal blend optimization for horizontal heat recovery coke plant. 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI, October 2012, Rio de Janeiro, Brazil, pp 2308-2317.

20. <http://www.ant-automation.net/cobop> accessed February 2016.

21. Філатов Ю.В., Є.Т. Ковальов, І.В. Шульга, С.І. Кауфман, А.І. Коломійченко Теорія і практика виробництва і використання доменного коксу покращеної якості / Під ред. С.Л. Ярошевського. – Київ: Наукова думка, 2011. 128 с.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача

Савенко Марина Євгеніївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її коксування на термомеханічні властивості шихти

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

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

| № з/п | Найменування розділу проекту (роботи) | Консультант | Зараховано / не зараховано | Дата | Підпис консульта | Примітка |
|-------|----------------------------------------|-------------|----------------------------|----------|------------------|----------|
| 1 | Аналітична частина | Десна Н.А. | зараховано | 12.05.26 | | |
| 2 | Основна частина | Десна Н.А. | зараховано | 26.05.26 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Зав. кафедри _____

(підпис)

_____ К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Савенко Марини Євгеніївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її
 коксування на термомеханічні властивості шихти

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

| | |
|------------------------------------------------------|-----|
| пояснювальна записка | 72; |
| таблиць | 28; |
| схем і рисунків | 13; |
| листів графічної частини(демонстраційного матеріалу) | - |

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу сучасних підходів до прогнозування якості металургійного коксу та оптимізації складу вугільних шихт. У роботі розглянуто роль вуглецевих матеріалів у металургійних процесах, проаналізовано основні фактори, що впливають на якість коксу, а також досліджено еволюцію моделей прогнозування його властивостей.

Автором виконано ґрунтовний аналіз науково-технічної літератури, узагальнено існуючі методи оцінки якості коксу та підходи до вибору оптимального складу вугільних шихт. Особливу увагу приділено питанням прогнозування міцності коксу, врахуванню реологічних властивостей вугілля та сучасним методам оптимізації сировинної бази коксування.

Робота є актуальною, має практичне значення для коксохімічної та металургійної промисловості, відзначається логічною структурою, послідовністю викладення матеріалу та достатнім рівнем опрацювання літературних джерел. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення процесів підбору вугільних шихт та прогнозування якості коксу в умовах сучасного виробництва.

Загалом робота відповідає встановленим вимогам до кваліфікаційних робіт, а її автор заслуговує на позитивну оцінку.

коксування та визначено переваги застосування термічної підготовки шихти.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

(бакалавра, магістра)

Робота базується на аналізі літературних джерел і не містить власних експериментальних досліджень.

Не проведено оцінку точності розглянутих моделей на реальних виробничих даних.

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

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

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

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженню способів математичного прогнозування вугільних шихт можуть бути впровадженні на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра

Керівник Десна Наталя Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« _____ » _____ 20__ р.

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

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

Я, *Савенко Марина Євгеніївна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

12.06.2026

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

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її коксування на термомеханічні властивості шихти

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Савенко Марина Євгеніївна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 72 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 1,53 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

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

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «12» червня 2026 р. протокол №16.

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Савенко Марина Євгеніївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Групи ЗХТ-23ск |
| Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра) |
| Вивчення впливу технологічних чинників підготовки вугільної шихти та її коксування на термомеханічні властивості шихти |
| Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра) |
| Моделювання та прогнозування якості коксу при формуванні вугільних шихт |
| Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра) |
| Представлена бакалаврська робота присвячена актуальній проблемі сучасної коксохімічної та металургійної промисловості – прогнозуванню якості коксу та оптимізації складу вугільних шихт на основі сучасних моделей оцінювання властивостей вугілля і коксу. В умовах зростаючих вимог до якості коксу для доменного виробництва, а також необхідності зниження собівартості металургійної продукції питання раціонального підбору вугільної сировини набуває особливого значення. |
| У роботі розглянуто роль вуглецевих матеріалів у металургійних процесах, проаналізовано основні функції коксу та інших вуглецевих матеріалів у доменному та електросталеплавильному виробництві. Значну увагу приділено питанням формування вугільних шихт, оцінювання властивостей вугілля та застосування математичних моделей для прогнозування якості коксу. |
| Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра) |
| Як побажання до подальших досліджень варто відзначити доцільність розширення практичної частини роботи шляхом наведення конкретних прикладів використання моделей прогнозування для реальних вугільних шихт та оцінювання економічного ефекту від їх впровадження. |
| Рекомендації: У цілому бакалаврська кваліфікаційна робота виконана на належному теоретичному та практичному рівні, відповідає вимогам, що висуваються до робіт освітнього ступеня «бакалавр», а її автор заслуговує на присвоєння відповідної кваліфікації. Робота може бути рекомендована до захисту. |
| Рецензент |

(прізвище, ім'я та по-батькові)

 (посада, науковий ступінь, вчене звання)

 (підпис)