

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Машинобудування, екології та хімічної технології»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Хімічних технологій та хімічного машинобудування»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_/Збиковський Є.І./

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

## Випускна кваліфікаційна робота

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Дослідження впливу складових вугільної шихти на якість доменного коксу»

Виконал: студент 2 курсу, групи ХТзм-20

напряму підготовки (спеціальності) 161 «Хімічні технології та інженерія»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Хоршев А.С. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф., д.т.н., Збиковський Є.І. \_\_\_\_\_

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доц. каф., ктн., Кутняшенко О.І. \_\_\_\_\_

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.*

Студент Хоршев А.С. \_\_\_\_\_

(підпис)

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 МЕТОДИ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ Й РЕАКЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ КОКСУ	9
1.1 Реакційна здатність і методи її визначення	9
1.2 Механічна міцність коксу й методи її оцінки	12
1.3 Стандартний метод визначення індексу реактивності коксу (CRI) і міцності коксу після реакції (CSR) (стандарт ASTM-5341-99)	17
2 ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ІНДЕКСІВ CRI І CSR	21
2.1 Зольність і склад золи	23
2.2 Ступінь метаморфізму й петрографічний склад вихідного вугілля	27
2.3 Технологічні фактори	30
3. ПЕРШЕ ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ ШИХТИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ВУГІЛЛЯ ЗІ США	33
3.1 Склад і властивості дослідної шихти	33
3.2 Особливості технологічного режиму	38
3.3 Властивості і вихід отриманого коксу	41
3.4 Коксування дослідної шихти у супутниках	46
4 ДРУГИЙ ЕТАП ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ ШИХТИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ВУГІЛЛЯ ЗІ США	50
4.1 Склад і властивості дослідної шихти	50
4.2 Технологічний режим під час дослідного-промислового коксування	54
4.3 Якість коксу, отриманого з дослідної шихти	55

5 ВИБІР МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ CRI І CSR З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ EXCEL	61
5.1 Загальна характеристика програмного пакету Excel	61
5.2 Вибір математичної моделі	61
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
6.1 Характеристика виробництва коксового цеху, його шкідливі й небезпечні фактори	70
6.2 Заходи щодо поліпшення умов праці	73
6.2.1 Розрахунок тепловідбіючого екранування кладки коксової батареї	75
6.2.2 Розрахунок кондиціонера	77
6.3 Пожежна безпека	81
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	87
ДОДАТОК А. ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	90
ДОДАТОК В. ПЕТРОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОМПОНЕНТІВ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ІІ-ГО ЕТАПУ ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ	91

## ВСТУП

Виплавка чавуну у світі тісно пов'язана з виробництвом коксу. Якість і вартість коксу, багато в чому визначають техніко-економічні показники виплавки чавуну. Критерії якості доменного коксу визначаються його функціями в доменному процесі. До цих критеріїв відносяться: вміст у коксі вільного вуглецю, шкідливих елементів і з'єднань, гранулометричний склад, холодна й гаряча міцність, реакційна здатність. Найважливішою характеристикою якості коксу на заводах Європи, Азії, Америки й Австралії вважається показник механічної міцності коксу після реакції (CSR), який залежить від індексу реактивності (CRI) коксу. Вимоги металургійних заводів Західної Європи й Північної Америки до якості доменного коксу за цими показниками дуже високі: CSR – більш 55-70 %, CRI – менш 22-30 %.

У зв'язку з дефіцитом високоякісного коксівного вугілля в Україні, на коксохімічних заводах змушені вводити в шихту для коксування підвищені кількості слабо спікливого й не спікливого вугілля, а також змінювати умови й режими коксування, що негативно позначається на якості доменного коксу. Тому основна кількість українського коксу має низьку якість, особливо по показниках CSR і CRI, яке становить  $CSR < 40\%$ , а  $CRI > 35\%$ . Кокс із такими якісними показниками не задовольняє вимогам до коксу, як металургійних заводів України, так і експортних поставок. Це негативно позначається на техніко-економічних показниках металургійних заводів, якості продукції, що випускається ними, і відповідно на роботі коксохімічних заводів.

Для одержання доменного коксу, який відповідає всім критеріям, висунутим металургійною промисловістю до якості коксу, коксохімічні заводи повинні мати достатню кількість необхідного високоякісного коксівного вугілля.

## 1 МЕТОДИ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ Й РЕАКЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ КОКСУ

### 1.1 Реакційна здатність і методи її визначення

*Реакційна здатність* – основна фізико-хімічна властивість коксу. Як у доменній печі, так і у вагранці протікають гетерогенні реакції взаємодії твердої речовини – коксу з газами, головним чином з киснем дуття й діоксидом вуглецю [1].

Швидкість протікання гетерогенних реакцій визначається як дифузією, тобто переносом реагуючих речовин до поверхні твердого тіла й відводом газоподібних продуктів реакції, так і кінетикою – швидкістю протікання самої хімічної реакції. Реакційна здатність – це сумарний показник, що характеризує швидкість протікання процесу взаємодії коксу з газами. Іноді реакційну здатність стосовно кисню називають горючістю, а стосовно діоксиду вуглецю – відновною здатністю.

При знижених температурах швидкість усього фізико-хімічного процесу взаємодії коксу з газами визначається швидкістю самої хімічної реакції. Кількість газів, яка повинна бути підведена в одиницю часу до реагуючої поверхні, або продуктів реакції, яке повинне бути відведене від неї, невелике. Отже, у цих умовах роль дифузійних факторів – швидкості подаваних газів, розміру шматків коксу, пористості їх і т. д. – також невелика, і процес протікає в кінетичній області.

Підвищення температури збільшує швидкість хімічної реакції, і тоді вже дифузійні фактори починають лімітувати процес, тобто він протікає в дифузійній області.

У кінетичній області відмінності у властивостях коксів позначаються сильніше, чим у дифузійній, але навіть і при температурах 1400-1500 °С відмічалася відмінність у реакційній здатності коксів.

Реакційна здатність коксу може бути оцінена як прямими, так і непрямыми методами. При цьому виходять різні показники. Приведемо деякі з них:

- втрата маси коксу, нагрітого до заданої температури в струмі діоксида вуглецю або кисню. Чим більше втрата маси за певний відрізок часу, тем вище реакційна здатність коксу;

- температура запалення, яка для різних вуглецевих матеріалів коливається в досить широких межах і становить для деревного вугілля приблизно 250 °С, для напівкоксу 400 °С, для середньо температурного коксу 500 °С, для високотемпературного коксу 650 °С. Температура запалення є непрямою характеристикою реакційної здатності. Більш висока температура свідчить про знижену реакційну здатність;

- зміна складу газів, що пропускаються через розпечений кокс. Наприклад, при пропущенні через кокс діоксиду вуглецю про реакційну здатність судять по відношенню кількості кисню, що перейшов із  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}$ , до всього кисню, що міститься в цих газах:

$$r = \frac{\frac{16}{22,4} \cdot \text{CO}}{\frac{16}{22,4} \cdot \text{CO} + \frac{32}{22,4} \cdot \text{CO}_2} = \frac{\text{CO}}{\text{CO} + 2 \cdot \text{CO}_2},$$

де:  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}$  виражені в % до всього об'єму вихідних газів.

- константа швидкості реакції відновлення діоксиду вуглецю при температурі 1050 °С, складає, розраховуючи на вуглець коксу, 0,5-0,8  $\frac{\text{мл}}{\text{г} \cdot \text{с}}$ .

Реакційна здатність коксу залежить головним чином від умов коксування. Чим вище температура кінця коксування, тем менше реакційна здатність коксу. Меншою мірою вона зв'язана із властивостями шихти. Однак помічене, що чим нижче ступінь метаморфізму вугілля, тем вище реакційна здатність коксу. Вимоги до останньої залежать від призначення коксу.

Ливарний кокс може відігравати роль не тільки пального, але й відновника  $\text{CO}_2$ . Однак відновлення коксу, що утворюється при горінні, діоксидом вуглецю є небажаним, тому що це приводить до витрати тепла на ендотермічну реакцію відновлення, неповному використанню теплоти згоряння коксу й, отже, до збільшення його витрати, зниженню температури чавуну, поганому заповненню їм ливарних форм. Тому бажане одержувати ливарний кокс зі зниженою реакційною здатністю.

Генераторний кокс, використовуваний у процесі газифікації, реагує з киснем, діоксидом вуглецю й водяною парою, утворюючи горючий генераторний газ. Чим вище реакційна здатність коксу, тем інтенсивніше протікає процес у газогенераторі. Тому для газифікації прагнуть використовувати кокс підвищеної реакційної здатності. Така ж вимога пред'являється до коксу, застосовуваного в електротермічних виробництвах.

У доменнім виробництві перевага віддається коксу зниженої реакційної здатності, тому що у верхній частині шахти доменної печі при температурах до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  процес протікає в кінетичній області, і тут сильно позначається реакційна здатність коксу. Чим вона вище, тем більшою мірою йде відновлення  $\text{CO}_2$  до  $\text{CO}$ , що так само, як і в ливарнім виробництві, приводить до зростання витрати коксу через втрати тепла на це відновлення й неповного використання теплоти згоряння коксу. Крім того, при підвищеній реакційній здатності більшою мірою буде протікати небажана реакція прямого відновлення заліза:



Отже, чим вище реакційна здатність коксу при порівняно низьких температурах у верхній частині доменної печі, тим більше вміст  $\text{CO}$  у доменному газі, тем, отже, гірше працює доменна піч і більшим буде витрата коксу.

У зоні доменної печі, де температури більш високі, доцільніше використовувати кокс із високою реакційною здатністю стосовно  $\text{CO}_2$ . Вважається, що реакційна здатність впливає й на рівність ходу доменної печі, а, отже, і на її продуктивність. Чим більше зона горіння вуглецю коксу, тим краще сходять матеріали по перетину доменної печі й піднімаються гази. Величина ж зони горіння обернено пропорційна його горючості, тобто реакційної здатності стосовно кисню. Таким чином, для забезпечення рівного ходу печі за інших рівних умов перевага слід віддавати коксу зі зниженою горючістю.

У ряді методів реакційну здатність визначають у невеликих навішеннях здрібненого, найчастіше до 1 мм, коксу. У цих умовах швидкість реакції в значній мірі залежить від величини й стану внутрішньої поверхні коксу, від його пористості.

В умовах же доменної або ливарної плавки в реакції з газами вступає грудковий кокс. Щоб оцінити його здатність реагувати з газами, О. С. Брук зі співробітниками запропонував спалювати в циліндричній печі діаметром 300 мм шар кускового коксу масою в 10 кг. Хімічна його активність характеризується питомою швидкістю горіння й розраховується по втраті маси за певний час.

## 1.2 Механічна міцність коксу й методи її оцінки

Міцність коксу має особливо велике значення при оцінці його якості. Під міцністю розуміють здатність коксу до опору різного роду механічним впливам. У зв'язку з тим, що кокс є пористим тілом, а шматки його мають певну тріщинуватість, слід розрізняти міцність матеріалу коксу, тобто стінок пор, пористого тіла коксу (шматочків коксу, позбавлених тріщин) і шматків коксу, що містять тріщини.

Про міцність матеріалу коксу судять по його мікротвердості, яка оцінюється величиною площі відбитка алмазної піраміди квадратного



перерізу, що вдавлюється в кокс під певним навантаженням. Мікротвердість залежить головним чином від температури коксування – чим вона вище, тим більше мікротвердість. Так, наприклад, кокс із газового вугілля, отриманий при 900°C, мав мікротвердість 1,74 ГПа, а при 1040 °C ця величина досягала 2,39 ГПа. Деякий вплив на мікротвердість виявляють і властивості коксівного вугілля. Однак відмінності в мікротвердості коксів, отриманих з різного вугілля, порівняно невеликі [2].

Міцність матеріалу коксу характеризує також його абразивна здатність. По методу Я. Е. Гінзбурга ця здатність оцінюється по втраті за певний час маси обертової алюмінієвої пластинки, притиснутої до порошку коксу. Чим більше втрата маси пластинки, тим вище твердість випробуваного коксу.

Для того щоб кокс можна було використовувати в доменній печі або у вагранці, він насамперед повинен мати достатню твердість. Однак тому що температура коксування становить 1000 °C и більш, твердість одержуваних коксів досить висока й тому у звичайній заводській практиці не контролюється.

Міцність пористого тіла коксу, тобто шматочків коксу, позбавлених тріщин, називають іноді структурною міцністю. Вона може бути оцінена, наприклад, по методу Н. С. Грязнова, розробленому в Східному вуглехімічному інституті. Пробу коксу в зернах розміром 3-6 мм поміщають разом зі сталевими кулями в металевий циліндр. Останній приводиться електродвигуном в обертання про частотою 25 хв<sup>-1</sup>. Після 40 хв. зважують залишок коксу на ситі з отворами 1 мм. Міцність пористого тіла  $i$  розраховують по формулі

$$i = \frac{a_1}{a_0} \cdot 100,$$

де  $a_1$  – залишок коксу на ситі, г;

$a_0$  – вихідне навішення коксу, г.

Для хорошого коксу міцність пористого тіла становить не менш 75 %. Вона росте з підвищенням температури коксування, часу витримки при цій температурі, спікливості вугілля й щільності вугільного завантаження.

Кокс у доменній печі розпушує стовп матеріалів і забезпечує його газопроникність, тому велике значення має міцність кускового коксу. Основними видами механічних впливів, яких зазнає кокс, є зусилля, що роздавлюють, дроблять і стирають. З них найменше значення при оцінці коксу має його опір зусиллям, що роздавлюють. Пояснюється це тим, що кокс здатний витримати зусилля, що роздавлюють, в 10-15 МПа, у той час як у нижній частині доменної печі вони становлять лише 0,3-0,35 МПа. Однак деякі фахівці вважаються, що тиск шихтових матеріалів при високій температурі в доменній печі сприяє реалізації мікротріщин у шматках коксу. Тому при оцінці якості коксу слід урахувувати і його опір роздавлюванню при високих температурах.

Дробимість коксу тісно пов'язана з його тріщинуватістю. Чим густіше мережа тріщин у коксі, тим більше буде його дробимість. Остання залежить від складу шихти, її підготовки до коксування, швидкості нагрівання й кінцевої температури. До підвищення дробимості коксу й виходу зерен розміром 10-40 мм веде збільшення вмісту в шихті жирних компонентів, великих мінеральних включень, температури й швидкості коксування.

Стиранність коксу при терті шматків друг об друга або об інші матеріали також залежить від складу шихти й режиму коксування – вона зростає в міру збільшення вмісту в шихті слабоспекливих компонентів, погіршення здрібнювання, зниження швидкості й кінцевої температури коксування. При підвищеній стиранності збільшується вихід самих дрібних зерен – до 5 мм.

Підвищені дробимість і стиранність коксу приводять до утворення в доменній печі дрібних зерен, що, у свою чергу, підвищує в'язкість шлаків і знижує дренажну здатність коксу в горні доменної печі. У результаті порушується рівний хід печі, періодично захаращується горно, несеться

частина коксового дріб'язку зі шлаками й знижується продуктивність доменної печі. У зв'язку із цим велике значення має правильна оцінка дробимості й стираності коксу. Протягом багатьох років для оцінки міцності кускового коксу проводилося його випробування в барабані Сундгрена (великий барабан).

У барабан діаметром 2000 мм і довжиною 800 мм, циліндрична поверхня якого утворена прутами діаметром 25 мм і з таким же зазором між ними, завантажують пробу коксу крупніше 25 мм масою 410 кг і обертають із частотою  $10 \text{ хв}^{-1}$  протягом 15 хв. Механічна міцність оцінюється масою коксу, що залишився в барабані, яка в коксів повинна становити 330-340 кг. Потім кокс, що пройшов через зазори між прутами, розсівають на ситах з отворами 10 і 25 мм. Вихід класу менш 10 мм служить додатковою характеристикою стираності коксу, а класу 10-25 мм – його дробимості.

У цьому барабані через малу швидкість обертання й великому ступені його заповнення відтворюються головним чином зусилля, що стирають. Тому всякі зміни в складі шихти або режимі коксування, що ведуть до підвищення стираності коксу (опіснення шихти, зниження температури коксування, видача неготового коксу), викликають зменшення залишку в барабані й збільшення виходу класу менш 10 мм у подбарабанному продукті.

Зміни ж у складі шихти або режимі коксування, що впливають на дробимість коксу, а отже, і його гранулометричний склад, мало відбиваються на показниках, одержуваних при випробуванні коксу у великому барабані. При тому самому залишку в барабані у двох коксів гранулометричний склад їх може сильно відрізнятися. Через ряд істотних недоліків цей метод випробування майже перестали застосовувати.

Міцність коксу почали оцінювати за одержуваними показниками при випробуванні коксу в малому барабані. Це барабан закритого типу діаметром 1000 і довжиною 1000 мм із чотирма радіально встановленими на рівних відстанях друг від друга полками висотою 100 мм. У барабан завантажують 50 кг коксу крупніше 60 мм і потім обертають його протягом 4 хв. із частотою 25

хв<sup>-1</sup>. Міцність коксу оцінюється двома основними показниками: М40, що представляють вихід після випробування шматків коксу крупніше 40 мм, і М10 – вихід коксу дрібніше 10 мм. Перший показник характеризує дробимість коксу й коливається в межах 70-83 %, другий – стиранність і становить 6-10 %. Бажане одержувати кокс із більшими значеннями показника М40 і меншими М10.

Однак і цьому методу властиві деякі недоліки, з яких головним є те, що випробуванню зазнає тільки кокс крупніше 60 мм, тобто близько 40 % усієї маси великого коксу. Тому показники, одержувані за допомогою описаного методу, використовуються лише для оцінки міцності ливарного коксу.

Міцність же доменного коксу оцінюється показниками ГОСТ 5953–72. Випробування проводиться в такому ж малому барабані й за тих самих умов (4 хв. із частотою обертання 25 хв<sup>-1</sup>). Однак завантаження 50 кг складається пропорційно виходу класів з коксу крупніше 25 мм. Показниками міцності, одержуваними по цьому методу, є М25 – вихід коксу крупніше 25 мм із залишку в барабані, який становить 82-88 %; М10 – вихід коксу менш 10 мм, який коливається в межах 6-9 %; і коефіцієнт дробимості

$$K = \frac{d_1}{d_2} \cdot 100,$$

де  $d_1$  і  $d_2$  – середні діаметри коксу до й після випробування.

Теоретично коефіцієнт К може змінюватися в межах від 100 до нескінченності. Н. С. Грязнов і ін. вважають це недоліком і вбачають більш доцільним застосовувати величину зворотну, яка може служити критерієм опору коксу дробленню:  $K' = \frac{d_2}{d_1} \cdot 100$ . Коефіцієнт К' змінюється в межах від 0 до 100 % і характеризує опір коксу зусиллям, що дроблять.

Більш стійкий до зусиль, що дроблять, кокс має високі показники М25 і К'. Стійкий же до зусиль, що стирають, кокс має менший показник М10.

Для оцінки міцності кускового коксу іноді використовують і інші методи крім випробування в барабані: скидання коксу на сталеву плиту, скидання певного вантажу на кокс і т.п. При цьому в основу показників, що оцінюють міцність коксу, покладена зміна гранулометричного складу.

### 1.3 Стандартний метод визначення індексу реактивності коксу (CRI) і міцності коксу після реакції (CSR) ( стандарт ASTM – D5341-99)

Коли куски коксу опускаються у доменній печі, вони піддаються впливу реакції зустрічними потоками  $\text{CO}_2$  і тертю між собою та об стінки печі. Ці одночасні процеси фізично послаблюють і хімічно реагують з кусками коксу, утворюючи додатковий об'єм дріб'язку, який зменшує проникність і призводить до підвищеної швидкості руху коксу і зниженню виробництва гарячого металу. Дані досліджень призначені для непрямого визначення поведінки коксу у доменній печі.

Установка для проведення дослідження.

Установка складається зі наступних частин:

а) Електрична піч, у яку поміщають реакційний посуд, який містить зразок коксу, забезпечує рівномірну температуру  $1100 \pm 5$  °C у реакційному посуді. Розміри печі не впливають на результати дослідження і можуть бути від 240 до 1035 мм по довжині і від 76,2 до 88,9 мм по зовнішньому діаметру. Тим не менш бажано, щоб піч мала три незалежні контрольовані зони нагріву для забезпечення рівномірності нагріву реторти, а також щоб цей контроль виконувався запрограмованим контролером.

б) Реакційний посуд виготовлений з жаростійкої сталі чи нікелевмістких сплавів і має розміри, які забезпечують щільну установку всередині печі. Кокс, який досліджується, розміщається на решітці, яка знаходиться в реакційному посуді. Під решіткою знаходиться постіль з керамічних кульок, які розміщені на другій решітці, через які проходить азот та вуглекислий газ, які вдуваються в посуд через коксову постіль на протязі

дослідження. Газ поступає через вхідні і вихідні патрубки, які розташовані у верхній і нижній частині сосуду, внутрішні діаметри яких міняються від 6 до 15 мм. Під час дослідження важливо щоб не було зворотного тиску газу під час подачі його через патрубки.

в) Витратоміри використовуються для моніторингу кількості  $N_2$  і  $CO_2$ , які використовуються під час дослідження. Тиски газу у вимірниках потоку повинні витримуватися відповідно до калібровки, яка здійснена виробником.

г) Термопары типу K, S, чи R відрегульовані при температурі від 20 до 21 °C і розміщені в трубки з нержавіючої сталі чи кераміки, які розташовані в центрі зразка, який знаходиться у сосуді. Центруюча трубка також виготовлена з термостійкого матеріалу і використовується для напрямку термопары у відповідну точку коксової подушки.

д) Сита, які використовуються для розсіву коксу під час його підготовки для реактивних досліджень на міцність і реактивність, використовуються для визначення міцності і реактивності після закінчення дослідження. Сита з квадратними отворами, які використовуються, мають розміри вічка 22,4; 19,0 і 9,5 мм. Необхідно завжди використовувати стандартні сита, які відповідають специфікації E11.

е) Ваги, які дозволяють зважувати до 25 кг і чутливістю до 1,1 г.

є) Обертаючий барабан для визначення міцності коксу після реакції має циліндричну камеру довжиною  $700 \pm 10$  мм і внутрішній діаметр  $130 \pm 5$  мм і дві кришки товщиною 10 мм чи більше. Циліндрична камера кріпиться по подовжній вісі до електричного двигуна з редуктором, приводним ременем, бажано з гідравлічним приводом для забезпечення обертання  $20 \pm 1$  оберт в хвилину. Лічильник обертів закріплений таким чином, що живлення вимикаються після того, як циліндр зробить 600 обертів за 30 хвилин.

Відбір проб і підготовка зразків:

а) Базовий зразок коксу відбирається у відповідності з методом D 346. Для стандартного дослідження кількість повинна бути не менше 57 кг.

б) Зразок просіюється на ситі 25 мм, відсів відкидається.

в) Використовуючи дробильне обладнання, бажано щоківу чи валкову дробарку, кокс +25 мм, який залишився, подрібнюється для просіювання через сита 22,4 мм.

г) Роздроблений зразок просіюється через сито 22,4 мм, яке розташоване зверху сита 19,0 мм. Кокс розміром менше 19,0 мм відкидається, а фракція від 22,4 до 19 мм залишається для досліджень.

д) За допомогою ділильного пристрою отриманий об'єм коксу 19–22,4 мм розділяється на три зразки, кожний вагою біля 250 г.

е) Просушити зразки при температурі  $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  на протязі 2 годин для отримання вологи менш ніж 1 %.

Проведення досліду:

а) З кожної проби коксу відібрати і зважити з точністю до 0,1 г пробу  $200 \pm 2$  г для тестування.

б) Перед тим, як розмістити реакційний посуд в електропіч, розмістіть зважену пробу в реакційному посуді так, щоб термопара знаходилася вертикально у центрі коксової подушки, при цьому її кінцева частина повинна на 50 мм виходити зі дна коксової подушки. Центруюча напрямна, яка звичайно фіксується до центру кришки, використовується для того, щоб забезпечити дане позиціонування кінцевика термopар.

в) Перед тим, як розміщувати посуд у піч, треба прочистити реакційний посуд на протязі 5 хвилин за допомогою  $\text{N}_2$ , який подається в об'ємі 5–10 л/хв. Перевірити пристрій на витік газу під час прочистки.

г) Виконати попередній прогрів печі до температури, яка б дозволила досягти температури  $1100 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 30 хв., коли проба буде розташована в печі.

д) Помістити реакційний посуд у піч і нагрівати до  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  в атмосфері  $\text{N}_2$ . Коли буде досягнута температура пробі  $1100 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , витримати пробу на протязі 10 хв. в атмосфері  $\text{N}_2$ , при цьому загальний час прогріву повинен бути 40 хв. Потім нагріти пробу на протязі 120 хв. в атмосфері  $\text{CO}_2$ , при цьому витрата газу повинна складати 5,0 л/хв.  $\pm 1\%$ . Під час тесту підтримувати температуру коксової подушки на рівні  $1100 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

е) Після того, як проба знаходилася під впливом атмосфери газу  $\text{CO}_2$  рівно 120 хв., на 5 хв. перемикніть подачу газу на  $\text{N}_2$ , забезпечуючи об'єм подачі 5–10 л/хв., для видалення таким чином з реакційного посуду газу  $\text{CO}_2$ . Потім висунути посуд з печі і дати зразку охолонути до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

є) Після охолодження висунути пробу коксу з реакційного посуду і зважити її з точністю до 0,1 г.

ж) Перемістити коксову пробу, яка прореагувала, в пристрій для перевірки міцності коксу після реакції і виконати 600 обертів за 30 хв. зі швидкістю обертання  $20 \pm 1$  об/хв.

з) Після виконання 600 обертів, висунути весь кокс з барабану. Просійте кокс, використовуючи сита 9,5 мм. Зважити кокс, який залишиться на ситах для розрахунку CSR. Зважте кокс, який пройшов через сита, перевіряючи витрати матеріалу під час барабанного тесту.

Розрахунок результатів.

а) За кожним тестом розраховується до 0,1 % процентне співвідношення коксу, який залишився після реакції в атмосфері  $\text{CO}_2$  і коксу, який залишився після барабанного тесту і просіювання через 9,5 мм сита.

б) Розрахунки виконуються наступним чином:

$$CRI = \frac{A - B}{A} \cdot 100 \%,$$

$$CSR = \frac{C}{B} \cdot 100 \%,$$

де А – маса вихідної проби перед реакцією, кг;

В – маса проби після реакції в атмосфері  $\text{CO}_2$ , кг;

С – маса фракції +9,5 мм після барабанного тесту, кг.



## 2 ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ІНДЕКСІВ CRI І CSR

Реакційна здатність коксу суттєво впливає на роботу доменної печі, особливо на температуру й газові профілі. Газифікація протікає вкупі з ослабленням текстури коксу, і це відбивається на його міцності. Міцність необхідно гарантувати для забезпечення оптимального газового потоку в стовпі завантаження, дренажу рідкого гарячого металу й шлаків у нижній частині доменної печі.

Протягом десятиліть металурги всього світу працюють над проблемою впливу реакційної здатності коксу на продуктивність доменної печі. Але і дотепер немає загальних підходів до її розв'язання.

Численні дослідження були зосереджені на вивченні якості коксу по методу фірми NSC, оскільки спірним залишається питання адекватності умов випробування реальним умовам у доменних печах.

Фактори, що визначають величини показників CRI і CSR коксу, в основному ті ж, що обумовлюють руйнування коксу в доменній печі. Але на відміну від температури випробування 1100 °C фактична температура деяких зон у доменній печі досягає 2000 °C при більш широкому складі газової атмосфери. Тому дотепер спірним залишається питання надійності використання результатів оцінки високотемпературних властивостей коксу по показниках CRI і CSR для прогнозування його поведінки в реальній доменній печі.

Показники CRI і CSR за рубежом стали найбільш важливим оцінним параметром якості. При цьому випробуванні вплив позиції пробовідбору менший або взагалі зневажливий, тому що дроблення до випробувальних розмірів стабілізує пробу. Результати аналізу роботи більшості доменних печей привели європейських доменників до висновку, що для високої продуктивності печей і зниження витрати відновників впливає нормативний показник CSR вихідного коксу необхідно встановити на рівні >60 %. Але

кожна доменна піч вимагає індивідуального підходу й комплексної оцінки режимів і параметрів роботи.

Вирішальний вплив на досягнення необхідних нормативів показника CSR коксу на європейських заводах виявив добір складу вугільної шихти. Значення CRI і CSR коксу залежать як від категорії вугілля, його реології й властивостей мінеральних складових вугільної шихти, так і від умов коксування. Наприклад, установлено, що одержання коксу з  $CSR > 65\%$  пов'язане з необхідністю скорочення частки більш дешевих газових і слабоспекливого вугілля у шихті для коксування [3].

Дослідження поведінки навіть високоміцного коксу в доменній печі показують, що виявляється зменшення розмірів коксу й різке зниження показника CSR. На руйнування коксу визначальним образом впливають тиск і тертя. Вони призводять до зменшення розміру шматків, але набагато менше впливають на стан коксу в об'ємі шматків. Під оптичним мікроскопом у шматках фурменого коксу розміром  $> 20$  мм можна виявити незначну корозію макропор і приблизно таку ж пористість, як у завантаженого коксу. На підставі цього можна зробити висновок, що макропористість коксу мало змінюється при його проходженні через доменну піч.

Якщо в печі порушується тепловий баланс і відновлення залізної руди, то реакція газифікації підсилює мікропористість коксу, що проходить через зону циркуляції. У кожному разі додаткове споживання тепла веде до більш сильного вигорання коксу в зоні циркуляції незалежно від показника CRI коксу, що завантажується.

Таким чином, хоча кореляція між показником CRI коксу й робочими параметрами доменної печі підтверджується порівняльними даними багатьох виробництв, однак нинішні знання про процес здрібнювання коксу в доменній печі недостатні для формулювання точних висновків, у якій зоні й чому відбувається прискорене здрібнювання коксу при даному стані доменної печі. Експерименти з відбором проб через фурми під час припинення дуття – це

єдиний нинішній спосіб збору даних про кокс для усунення причин нестабільного ходу печі, пов'язаного з коксом [3, 4].

Реакційну здатність металургійного коксу, визначену по реакції вуглецю коксу із  $\text{CO}_2$  при температурі 1100 °С, розглядають як один з основних показників якості при використанні коксу в доменному виробництві. Збільшення реакційної здатності призводить, з одного боку, до підвищеної витрати коксу, з іншого боку – до зниження його міцності в умовах доменної печі, що сприяє здрібнюванню шматків і знижує газопроникність завантаження. Тому підвищення реакційної здатності коксу супроводжується зниженням продуктивності доменної печі й збільшенням питомої витрати коксу.

## 2.1 Зольність і склад золи

Використання вугілля зі сприятливими (низькою основністю) властивостями золи дозволяє значно підвищити в цілому показник CSR коксу. Зниження CSR коксу в основному пов'язане з використанням вугілля із високою основністю золи й низьким виходом летучих. Також установлене, що кокс зі зниженим показником CSR містить мінеральний компонент, хімічно неактивний стосовно диоксиду вуглецю, і легше руйнується в барабані для визначення CSR. Що стосується зниження показника CSR незалежно від реакційної здатності CRI, те воно звичайно ідентифікується з нагромадженням таких інертних складових, як коксовий дріб'язок, антрацит, нафтовий кокс і включення кварцу [5].

Деякі закордонні заводи використовують до 70 % австралійського вугілля у шихті, незважаючи на їхню високу вартість, одержуючи кокс із  $\text{CSR}=70\%$ .

Австралійське вугілля характеризується виходом летучих у діапазоні від низького до середнього (звичайно 19-24 %), показником відбиття вітриніту в межах 1,05-1,45 % і зольністю 8,5-10 %. Таким чином, за кордоном прагнення

одержати кокс із «гарячою» міцністю CSR на рівні 70 % автоматично веде до збільшення частки австралійського вугілля у шихті для коксування >50 %. Це обумовлює підвищення зольності коксу до >10 %.

Зольність коксу й склад золи впливають на роботу доменної печі. Висока зольність означає збільшений вихід шлаків і зниження продуктивності. Однак, у наш час лише деякі керівники доменних виробництв віддають перевагу малозольному коксу (8-9 %), віддаючи при цьому пріоритет сприятливому хімічному складу золи й високому показнику CSR коксу з австралійського вугілля, допускаючи зольність коксу до 11 % при низькому показнику основності золи. У табл. 2.1 наведені дані про склад золи коксу з показником CSR 57-74 % по європейських коксохімічних заводах.

Хімічний склад золи коксу в значній мірі залежить від мінералогічного складу. Основні елементи (Fe, Ca, Mg, лужні метали) утримуються в мінералах, які хімічно активні при температурі випробування на реакційну здатність і руйнують структуру коксу. Підвищена основність золи представляється фактором, що підсилює реакційну здатність коксу. З іншого боку, силікати в коксі не проявляють активності при коксуванні вугілля й в умовах випробування коксу на CRI. Включення хімічно інертного силікату зменшують поверхню мікропор у коксі й сповільнюють проникнення газу в шматок коксу. Це сприяє одержанню коксу з низьким показником CRI і високим CSR.

Дослідження під мікроскопом коксу із зони циркуляції доменної печі показує, що відновлення диоксида кремнію приводить до ослаблення структури коксу. Відновлення диоксида кремнію впливає на руйнування коксу в доменній печі, але про протікання цього процесу відомо мало. Відновлення диоксида кремнію має місце при температурах >1100 °C, прийнятих при випробуванні коксу по методу NSC, тому його неможливо виявити через величину CSR коксу.

Таблиця 2.1 – Показники якості коксу.

Показники	Зразок коксу						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Вміст, %: мінеральних речовин сірки	8,1 0,56	8,5 0,52	8,6 0,73	8,9 0,71	9,9 0,60	10,6 0,51	10,7 0,50
Вихід летучих речовин, %	0,49	0,34	0,43	0,38	0,80	0,49	0,51
Склад золи, %:							
SiO <sub>2</sub>	3,48	3,56	4,16	5,17	5,95	5,26	5,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,14	2,38	2,65	2,42	2,74	3,08	3,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,16	1,27	0,77	0,56	0,48	0,51	0,76
CaO	0,32	0,43	0,26	0,19	0,13	0,18	0,33
MgO	0,14	0,22	0,15	0,08	0,06	0,04	0,09
K <sub>2</sub> O	0,17	0,21	0,31	0,13	0,13	0,10	0,21
Na <sub>2</sub> O	0,11	0,15	0,11	0,06	0,04	0,05	0,05
P	0,022	0,047	0,029	0,033	0,019	0,036	0,034
Основність золи*	0,34	0,38	0,24	0,13	0,10	0,11	0,16
Вміст лугів, %	0,28	0,36	0,42	0,18	0,17	0,15	0,26
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,63	1,50	1,57	2,14	2,17	1,71	1,48
CRI, %	26,7	32,7	24,6	27,8	19,4	21,4	22,3
CSR, %	65,8	56,8	66,7	60,7	73,8	72,2	69,7
* Основність: $(Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3)$ .							

При роботі на коксі VI із зольністю 10,6 % (див. табл. 2.1) був досягнутий рівень питомої витрати пиловугільного палива, що вдувається (ПВП) 200 кг/т чавуну при помірній продуктивності доменної печі 2,5 т/(м<sup>3</sup> доб). На коксі V із зольністю 9,9 % витрата ПВП склала тільки 110 кг/т чавуну, але при максимальній питомій продуктивності 3,3 т/(м<sup>3</sup> доб).

Відзначається необхідність зниження зольності коксу до значень <10 % при збереженні показника CSR на рівні 70 %. Серед можливих шляхів розглядають добавку в шихту нафтового коксу, як це має місце при одержанні коксу V з CSR~74 %, або поліпшення структури коксу, як це відбувається при технології коксування в печах без уловлювання хімічних продуктів.

На реакційну здатність значно впливають вміст і склад мінеральних компонентів. Кількісною оцінкою вмісту у вугіллі і коксі мінеральних компонентів служить показник зольності, хоча це не цілком коректно через часткове розкладання деяких з них у процесах коксування й озолення. Заданими, отриманим із застосуванням емісійної спектроскопії, атомно-абсорбційної спектроскопії й індукційно-зв'язаної плазми, деякі золотворюючі елементи (Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti) майже повністю переходять із вугілля у напівкокс, тоді як вміст інших (Ni, Mn, Cr, Zn, Cu) при цьому значно зменшується [6].

Стандартний метод озолення твердих горючих копалин при  $815 \pm 15$  °C супроводжується сублімацією до 35 % натрію, вміст якого вважають одним з важливих факторів, що впливають на реакційну здатність коксу й хід доменного процесу [7]. Отже, встановлення складу мінеральних компонентів вугілля і закономірностей його зміни в процесі коксування представляється самостійною науковою проблемою, вирішення якої досить важливо не тільки для доменного виробництва, але й для інших технологій, що використовують кокс у якості відновника, і пов'язаних з його реакційною здатністю. Прийнято вважати, що цей показник коксу зростає зі збільшенням його зольності.

Утворення карбідів Si, Al, Ca й Mg відбувається тільки при температурі  $>1200$  °C. На відміну від перерахованих елементів карбіди лужних металів утворюються вже при 500-600 °C.

У результаті цих перетворень лужних з'єднань структура коксу слабшає й швидко руйнується внаслідок протікання реакції Будуара.

У європейських країнах встановлена жорстка норма вмісту в доменному коксі лужних металів, у більшості випадків  $<0,2$  % [8].

У якості ймовірного механізму каталітичного впливу металів на процес окиснення вуглецю розглядаються наступні стадії. У процесі піролізу вугілля атоми металів, проникаючи у кристалічні ґрати вуглецю коксу, призводять до появи дефектів структури (перешкоджають асоціації плоских вуглецевих сіток у блок) і «розпушують» її. У результаті збільшується кількість активного

периферійного вуглецю. Відомі дослідження з додаванням до вугілля декількох відсотків вапняку, яке призводить до росту реакційної здатності коксу в  $\sim 100$  раз [9]. При коксуванні вугілля з високим виходом летучих речовин у суміші з 3 % неочищеного смоляного залишку з високим вмістом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  величина показника реакційної здатності CRI зростає до 80 %.

Крім мінеральних компонентів, що впливають на збільшення показника реакційної здатності коксу, відомі й такі, які знижують цей показник. До них відносять  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{TiO}_2$ ; до інгібіторів відносять з'єднання бору [9]. Однак оксид титану, що переходить у  $\text{TiN}$  і  $\text{TiC}$ , каталітично впливає на реакційну здатність коксу.

У результаті більш 200 лабораторних коксувань був виявлений визначальний вплив вмісту  $\text{SO}_3$  у золі на термомеханічну міцність коксу. Збільшення вмісту  $\text{SO}_3$  на 1 % знижує показник CSR на 20-24 % і приблизно на стільки ж збільшує CRI [9]. Відомо також думка, що підвищений вміст сірки й фосфору прямим чином не впливає на поведінку коксу в доменній печі [8]. Але поряд із цим існує точка зору про вплив, що інгібує, з'єднання сірки на показник реакційної здатності коксу. Підставою для цієї гіпотези служить той факт, що конверсія карбідного вуглецю ефективно гальмується в присутності сірки.

Вплив на реакційну здатність сірчаності коксу слід розглядати диференційовано, маючи на увазі вміст у ньому сульфідної й органічної сірки (вмістом сульфатної сірки через її малу кількість можна зневажити). Найбільше «шкідлива» сульфідна сірка, яка, інтенсивно газифікуючись у межах 1000-1500 °C, послабляє структуру коксу, з одного боку, і звільняє його пори для швидкої газифікації вуглецю відновлювальним газом – з іншого [10].

## 2.2 Ступінь метаморфізму й петрографічний склад вихідного вугілля

Рівень реакційної здатності коксу залежить як від петрографічного складу вугільних шихт, так і від ступеня метаморфізму вихідного вугілля.

Один зі шляхів регулювання реакційної здатності коксу – добір вугілля із урахуванням його петрографічного складу й ступеня метаморфізму при складанні шихт для коксування. Зі збільшенням показника відбиття вітриніта вугілля хімічна активність отриманого з них коксу зменшується до мінімуму в області  $R_{0,max}=1,2-1,4$  %, коли кокс характеризується грубомозаїчною структурою, а потім збільшується [11]. Участь у шихтах низькометаморфізованого вугілля ( $R_{0,max}<0,9$  %) приводить до формування ізотропної структури коксу з підвищеною реакційною здатністю.

У результаті роботи, проведеної на ВАТ НТМК, для показників якості коксу CRI і CSR були встановлені наступні залежності з якістю шихт:

$$CSR=112,1479 R_{0,п}-7,7269\sigma_R-64,4605;$$

$$CRI=-79,1777 R_{0,п}+118,2776,$$

де  $R_{0,п}$  – середній довільний показник відбиття вітриніту шихти, %;

$\sigma_R$  – ступінь неоднорідності шихти по стадії метаморфізму, %.

При цьому коефіцієнти детермінації ( $R^2$ ) склали відповідно 0,93 і 0,92, а середньоквадратичне відхилення відповідно 0,6 і 1,1 %. Показник  $\sigma_r$  визначає головним чином міцність контакту поверхні зерен різної стадії метаморфізму в процесі їх піролізу. Тому цей фактор більшою мірою впливає на міцність коксу.

Показник CRI визначається головним чином ступенем упорядкованості вуглецевої структури коксу, тому багато в чому залежить від показника  $R_{0,п}$ , що формує певну текстуру коксу по типах анізотропних структур, починаючи зі стадії пластичного стану й кінчаючи коксом з певною кінцевою температурою його одержання й часом ізотермічної витримки. На показник CRI впливає також параметр  $\sigma_{СК}$  – ступінь неоднорідності по петрографічному складу, як фактор локальних дефектів, що утворюються в структурі коксу через різний характер розподілу вітриніта в мікролитотипах і різного вмісту останніх у шихті для коксування [11].



Також важливо враховувати характер розподілу вітриноїдних типів у шихті, тобто використовувати рефлектограму шихти. При цьому поряд із загальним вмістом вітриноїдних типів у шихті з показниками відбиття вітриніта 0,95-1,65 % необхідно враховувати й відношення кількості вітриноїдних типів з показниками відбиття 1,20-1,65 % до кількості вітриноїдних типів з показниками відбиття 0,95-1,19 %. Це співвідношення було названо коефіцієнтом балансу складу коксівних і спікливих компонентів у шихті [12].

Петрографічний склад вугілля обумовлює формування певної пористої структури коксу і його реакційної здатності. Пористість коксу в цілому зростає (до певної величини) зі збільшенням вмісту у вугіллі не спікливих мацералов (інертиніта, частково семивітриніта) [11].

При дослідженні залежності реактивності від пористості коксу зв'язок виявився досить слабким. Отримані результати інтерпретують по реакції газифікації в основному на поверхні шматків коксу. Очевидно, слід оцінювати вплив на реакційну здатність не стільки загальної пористості коксу, скільки розподілу пор по величині ефективного діаметра (мікро-, мезо- і макропори) [13].

У пробах рідких нелетучих складових, отриманих з вугілля, визначали вміст різних вуглеводнів за допомогою інфрачервоної спектроскопії. Було розраховане відношення інтегральних активностей ароматичних і аліфатичних вуглеводнів і встановлений тісний кореляційний зв'язок між цим показником і реакційною здатністю коксу. Змінюючи вуглеводний склад рідкої фази доборою і співвідношенням коксівного вугілля, можна регулювати реакційну здатність одержуваного з них коксу.

Зі збільшенням ступеня відновлюваності вугілля частка дрібнозернистої й листоватої структур у коксі зменшується, а середньозернистої – збільшується. Це зв'язують із кращою спікливістю й більшою плинністю відновленого вугілля, що, у свою чергу, створює кращі умови для утворення мезофази в пластичній масі вітринізованої речовини й,

отже, для формування коксу з підвищеним вмістом найбільш досконалих оптичних структур середньо- і грубозернистого типу. Це повинне приводити до зниження реакційної здатності коксу [14].

### 2.3 Технологічні фактори

Структура коксу являє собою складну композицію з вуглецевих доменів, мінералів, тріщин і відкритих пор. Зниження питомої витрати коксу означає його більш тривале перебування в доменній печі й пред'являє більш строгі вимоги до пористої структури [3].

Пористість різних зразків коксу різна через різні умови в коксовій печі, зокрема через розкид щільності завантаження. Контрзаходом може бути звуження діапазону пористості коксу за рахунок ущільнення завантаження при додаванні у вугільну шихту 0,1-0,2 % масел або нафтового коксу .

Швидкість нагрівання маси вугільної шихти в напрямку від стін до центру пічної камери представляється важливим фактором оптимізації показника CSR.

Провідні світові виробники одержують кокс, як правило, при помітно менших швидкостях коксування, ніж при проектному періоді коксування українських заводів [15]. Показник CSR коксу у функції ступеня впорядкованості ґратчастої структури вуглецю виявляє тенденцію до зниження в напрямку центру печі внаслідок зниження швидкості нагрівання. Показник CSR готового коксу знижується, і починає проявлятися його відхилення як результат підвищеного розкиду властивостей структури, сформованої при коксуванні.

Що стосується одержання коксу з показником  $CSR > 65$  %, то звичайно склад золи коксу з австралійського вугілля дозволяє компенсувати негативний вплив розкиду структури, одержуваної в печах з уловлюванням хімічних продуктів.

Коксові печі без уловлювання хімічних продуктів на заводі в США, реалізують нову технологію коксування, при якій середній показник CSR коксу із зольністю 8-9 % стабільно перебуває на рівні 70 % і на кілька одиниць перевищує цей показник для коксу з печей з уловлюванням хімічних продуктів. Цей факт пояснюють тривалим (48 ч) періодом коксування й посиленням розкладанням парогазових продуктів із проникненням хімічно інертного піролітичного вуглецю в пори в усьому обсязі коксу.

Результати дослідів у коксових печах шириною 450, 600 і 750 мм свідчать, що у всіх варіантах проявляється сприятливий вплив на якість коксу збільшення насипної щільності шихти від 730 до 840 кг/м<sup>3</sup>. Величина CRI знижується від 29 до 24 %, а CSR – збільшується від 46 до 68 %.

Слід зазначити, що всі відомі способи підготовки шихти до коксування, що приводять до збільшення її насипної щільності, сприяють зниженню реакційної здатності коксу. Експерименти по коксуванню трамбованої шихти на заводах Німеччини та Індії показали підвищення термомеханічної міцності на 5 %. Сушіння шихти до 2 %-вій вологості з наступним брикетуванням класу <0,3 мм приводить до підвищення термомеханічної міцності коксу на 4,5 %. Збільшення насипної щільності завдяки термічній підготовці при коксуванні в однокамерній установці (Кайзерштуль, Німеччина) також підвищує термомеханічну міцність коксу [3].

Збільшення насипної щільності завантаження на 100 кг/м<sup>3</sup> приводить до підвищення термомеханічної міцності коксу на 4-9 % і до зниження реакційної здатності приблизно на таку ж величину. Для одержання коксу з високим рівнем CSR (>70 %) і низьким CRI (<25 %) вимоги до ступеня здрібнювання вихідного вугілля наступні: > 6,2 мм < 5 %; < 3 мм 86 %; < 2 мм 76 % [9].

Для коксових батарей великого об'єму переважніше здрібнювання вугілля зі вмістом класу <0,5 мм не вище 38-45 %, що сприяє підвищенню механічної міцності коксу, але в той же час приводить до деяких втрат виробництва через зниження насипної щільності шихти. Всупереч цьому,

зниження реакційної здатності коксу досягається при збільшенні розмірів частинок шихти, причому найбільший ефект спостерігається у випадку використання слабоспівливого вугілля марок Г и ПС.

Дослідами в камері коксування висотою 6 м показане, що осадження піролітичного вуглецю в порах і на поверхні шматків коксу сприяє зниженню його реакційної здатності.

Результати зміни реакційної здатності коксу по ширині камери коксування свідчать, що цей показник у районі центрального шва для всіх класів крупності має найбільше значення. Це пов'язане з більш низькою кінцевою температурою в області шва й меншою тимчасовою витримкою при кінцевій температурі коксування, що обумовлює менший ступінь структурування вуглецевого каркаса. У міру віддалення шматків коксу від центрального шва й наближення до стінки пічної камери значення його реакційної здатності знижуються, що свідчить про більш глибокі процеси впорядкування вуглецевої структури коксу.

Для одержання низької реакційної здатності коксу потрібна достатня витримка при кінцевій температурі коксування в умовах, коли вже відсутній процес активації. Однак тривала витримка коксу при кінцевій температурі приводить до зміни гранулометричного складу у бік збільшення вмісту дрібних класів.

При послідовнім підвищенні температури в процесі коксування вугілля показник реакційної здатності безупинно зменшується внаслідок удосконалювання молекулярної й надмолекулярної структур [16].

У той же час існують результати досліджень, які показують наявність залежності індексу CSR від гранулометричного складу металургійного коксу [17]. Клас 25-40 має значення CSR ~ на 5 % (абс.) більше, ніж клас більше 80 мм.

Регулюючи кінцеву температуру коксування й тривалість витримки при цій температурі, можна деякою мірою впливати на структуру коксу й тим самим на його реакційну здатність.

Порівняння якості коксу мокрого й сухого гасіння показує, що реакційна здатність коксу сухого гасіння нижче, чим у коксу мокрого гасіння, внаслідок зменшення термічних напруг. Підвищення якості коксу сухого гасіння в порівнянні з коксом мокрого гасіння відбувається в тому числі й по таких важливих показниках як індекси CRI і CSR. За даними експлуатації китайських підприємств підвищення індексу CSR у середньому становить 2,09 %, максимальне – 4,2 %, зниження індексу CRI становить у середньому 1,94 %, максимальне – 3,8 % [18]. Аналогічний ефект відзначається на підприємствах України [19]. Підвищення якості коксу особливо важливо для доменних печей великого обсягу із вдмухуванням пиловугільного палива.

Чітко прослідковується залежність показника CRI від терміну служби коксових батарей, тобто від стану пічного фонду. Чим більше вік коксової батареї, тим вище реакційна здатність одержуваного в них коксу.

### 3 ПЕРШЕ ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ ШИХТИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ВУГІЛЛЯ ЗІ США

#### 3.1 Склад і властивості дослідної шихти

Коксування здійснювалося на батареях № 5-6 зі змішаним гасінням коксу й батареї № 9 із сухим гасінням коксу. Склад вугільної шихти наступний, %: розріз «Новоказанський» (марка «Г») – 10; ЦЗФ «Дуванская» (марка «Ж») – 10; Картер Роуг (марка «Ж») – 65, Покахонтас (марка «НЛК») – 15. Розрахункові значення становили: індексу основності ( $I_0$ ) вугільної шихти величину рівну 2,12; реакційної здатності коксу CRI=30-32 %, а післяреакційній міцності CSR=54-56 %.

Кількість і якість вугільних компонентів, що входили до дослідній шихті, наведене в табл. 3.1.

Аналізуючи дані табл. 3.1, необхідно відзначити наступне. Якість збагаченого на вуглефабриці заводу вугілля розрізу «Новоказанський» варіювалося від партії до партії, а саме: зольність від 5,2 до 8,2 %, вміст загальної сірки від 0,70 до 0,86 %, вихід летучих речовин від 36,6 до 40,1 %. У цілому, збагачене вугілля розрізу «Новоказанський» характеризувався невисокою зольністю (6,6 %), низьким вмістом загальної сірки (0,74 %) і виходом летучих речовин, рівним 39,1 %.

Зольність вугільного концентрату ЦЗФ «Дуванская» варіювалася від 7,7 до 9,7 %, вміст загальної сірки від 1,89 до 2,30 %, вихід летучих речовин від 32,0 до 34,9 %. Вугільний концентрат характеризувався наступними середніми значеннями якості:  $A^d=9,1$  %;  $S_t^d=1,95$  %;  $V_{daf}=32,4$  %.

Американське вугілля Картер Роуг характеризувався зольністю від 9,1 до 10,3 %, вмістом загальної сірки від 0,61 до 0,74 %, виходом летучих речовин від 29,8 до 32,3 %. У середньому показники технічного аналізу становили:  $A^d=9,9$  %;  $S_t^d=0,67$  %;  $V_{daf}=31,5$  %.

Зольність вугілля Покахонтас коливалася від 7,9 до 8,8 %, вміст загальної сірки від 0,76 до 1,06 %, вихід летучих речовин від 16,6 до 20,3 %. Середні значення для даного вугілля становили:  $A^d=8,3$  %;  $S_t^d=0,81$  %;  $V_{daf}=17,8$  %.

Виходячи з наведених даних, можна констатувати, що якість основних компонентів (Картер Роуг і Покахонтас) характеризувалося відносною стабільністю показників технічного аналізу. Слід зазначити підвищену зольністю вугілля Картер Роуг (9,9 %), що при його високій долі у шихті могло привести до появи партій коксу із зольністю, що перевищує 12 %.

Враховуючи той факт, що американське вугілля перед використанням перебувало у тривалому морському плаванні, представлялося доцільним визначення ступеня його окиснення за методикою УХІНА. Проведені в ЦЗЛ ПАТ «АКХЗ» дослідження показали, що вугілля Покахонтас є частково окисненим ( $\Delta t=9^\circ$ ), а вугілля Картер Роуг не окиснене ( $\Delta t=3^\circ$ ). Враховуючи

часткову окисленість вугілля Покахонтас можна чекати деякі коливання значень механічної міцності виробленого коксу.

Таблиця 3.1 – Технологічні властивості вугільних компонентів експериментальної шихти

Вугільний компонент	Номер поставки	Вага, т	W <sub>r</sub> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	Vdaf, %
Розріз «Новоказанський»	1	1111,39	9,6	5,2	0,70	39,9
	2	911,56	9,6	5,8	0,78	40,1
	3	1813,20	10,0	7,1	0,70	38,9
	4	497,78	10,8	8,0	0,79	38,8
	5	505,00	9,8	8,2	0,86	36,6
	Разом	4838,93	10,0	6,6	0,74	39,1
ЦЗФ «Дуванская» (з 17.08)	1	478	11,4	9,7	2,10	32,8
	2	760	10,9	9,2	1,91	32,0
	3	557	11,1	8,4	2,11	32,4
	4	904	12,4	8,6	2,22	33,7
	5	625	12,3	7,9	1,89	33,6
	6	695	12,0	8,5	2,30	33,3
	7	345	9,5	7,7	2,17	34,9
	Разом	4364	11,57	9,1	1,95	32,4
Картер Роуг	1	7345	9,6	10,3	0,61	31,3
	2	1850	9,7	10,0	0,69	31,6
	3	1691	9,6	9,6	0,71	31,7
	4	623	9,3	10,0	0,70	31,7
	5	1339	7,4	9,1	0,69	32,3
	6	Немає даних				
	7	1699	9,4	9,4	0,68	31,8
	8	1358	9,3	9,9	0,68	31,2
	9	832	7,7	9,5	0,74	29,8
	10	2914	7,8	9,6	0,72	31,6
	Разом ( по 9 поставках)	19651	9,4	9,9	0,67	31,5
Покахонтас	1	3378	9,4	8,3	0,76	17,5
	2	820	9,4	8,8	1,06	20,3
	3	1710	9,1	8,3	0,76	17,7
	4	888	9,1	8,0	0,81	17,1
	5	478	9,1	8,3	0,87	17,8
	6	343	9,2	7,9	0,80	16,6
	7	551	9,1	8,0	0,82	18,2
	8	477	5,7	8,5	0,85	18,0
	Е	8637	9,3	8,3	0,81	17,8

У табл. 3.2 і 3.3 наведена характеристика якості дослідних шихт, що коксувалися на 5-6 і 9 батареях.

Дані табл. 3.2 і 3.3 свідчать про стабільність якісних характеристик дослідних шихт як у рамках однієї батареї, так і між батареями № 5, 6 і № 9.

Так, середні значення зольності становлять 9,0 %, вміст загальної сірки 0,80-0,84 %, вихід летучих речовин 29,5-29,7 %, мливо 81,2-83,4 %, насипна щільність 0,706-0,730 т/м<sup>3</sup>, товщина пластичного шару 15 мм.

Таблиця 3.2 – Технологічні властивості вугільної шихти, що коксується на батареях № 5-6

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливо 0-3 мм, %	Насипна щільність, т/м <sup>3</sup>	Пластометричні показники, мм	
		Wr, %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %			X	Y
15.11	2	9,9	8,9	0,96	30,0	78,0	0,747		
16.11	1	8,8	8,7	0,83	30,1	78,3	0,742	34	15
	2	8,0	8,8	0,80	29,7	80,7	0,749		
17.11	1	6,6	8,9	0,91	29,2	84,9	0,744	31	15
	2	8,1	9,1	0,82	29,4	83,3	0,742		
18.11	1	7,8	9,1	0,86	29,4	84,3	0,720		
	2	8,0	9,3	0,81	29,7	83,0	0,720		
19.11	1	8,4	9,0	0,77	29,7	82,9	0,738		
	2	7,6	8,8	0,81	29,6	84,1	0,724	35	14
20.11	1	7,4	9,2	0,78	30,1	78,2	0,682		
Середнє значення		8,1	9,0	0,84	29,7	81,2	0,730	33	15
Інтервал		6,6-9,9	8,7-9,3	0,77- 0,96	29,2- 30,1	78,0-84,9	0,682-0,749	31-35	14-15

Проведене петрографічні дослідження вугільних шихт підтвердили близькість їх якісних характеристик. Показник відбиття вітриніта склав 1,09 і 1,10 %, вміст вітриніту 88,4 і 88,0 %, сума компонентів, що охлянуть, 9 і 10 % відповідно для шихт (5, 6) і 9 батарей. Варто підкреслити, що більш високе значення рівня подрібнення шихти на 9 батареї (83,4 %) у порівнянні з батареями № 5-6 (81,2 %) кореспондується з більш низьким значенням її насипної щільності (0,706 і 0,730 т/м<sup>3</sup> відповідно).



Таблиця 3.3. – Технологічні властивості вугільної шихти, що коксувались на батареї № 9.

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливо 0-3 мм, %	Насипна щільність, т/м <sup>3</sup>	Пластометричні показники, мм	
		Wr, %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %			х	у
16.11	1	7,4	9,0	0,86	28,2	84,1	0,710	26	15
	2	7,1	9,1	0,83	29,7	79,1	0,753		
17.11	1	7,3	8,9	0,84	28,8	84,6	0,717	33	15
	2	7,8	9,4	0,80	29,5	84,6	0,727		
18.11	1	8,0	8,9	0,89	29,6	83,8	0,720		
	2	6,0	9,4	0,75	30,0	84,4	0,694		
19.11	1	6,6	8,9	0,75	30,0	83,3	0,693		
	2	6,9	8,7	0,79	29,7	82,7	0,685	30	15
20.11	1	7,8	8,5	0,70	29,5	83,1	0,728		
	2	7,7	8,7	0,82	29,7	82,4	0,691		
21.11	1	7,8	9,0	0,76	29,9	84,3	0,712		
	2	6,9	9,1	0,79	29,9	84,5	0,638		
Середнє значення		7,3	9,0	0,80	29,5	83,4	0,706	30	15
Інтервал		6,0-8,0	8,5-9,4	0,70-0,89	28,2-30,0	79,1-84,6	0,638-0,753	26-33	

Таблиця 3.4. – Дозування експериментальної шихти на батареї №5-6

Дата	Зміна	Кількість подаваного компонента, т ( %)				Усього, т ( %)
		Розріз «Новоказанський»	ЦЗФ «Дуванская»	Картер Роуг	Покахонтас	
16.11	1	110 (10)	110 (10)	720 (65)	170 (15)	1110 (100)
	2	210 (10)	210 (10)	1370 (64,9)	320 (15,1)	2110 (100)
17.11	1	140 (9,2)	150 (9,9)	1000 (65,8)	230 (15,1)	1520 (100)
	2	130 (9,4)	130 (9,4)	890 (64,5)	230 (16,7)	1380 (100)
18.11	1	140 (10)	140 (10)	920 (65,7)	200 (14,3)	1400 (100)
	2	130 (9,9)	130 (9,9)	850 (64,9)	200 (15,3)	1310 (100)
19.11	1	140 (9,7)	140 (9,7)	940 (65,3)	220 (15,3)	1440 (100)
	2	140 (9,9)	140 (9,9)	925 (65,4)	210 (14,8)	1415 (100)
20.11	1	140 (10)	140 (10)	910 (65,5)	200 (14,5)	1390 (100)
	2	130 (9,8)	130 (9,8)	870 (65,4)	200 (15,1)	1330 (100)
21.11	1	140 (9,4)	150 (10)	980 (65,8)	220 (14,8)	1490 (100)
	2	55 (10,1)	50 (9,2)	360 (66,1)	80 (14,7)	545 (100)
Середнє значення		9,8	9,8	65,4	15,0	100
Інтервал		9,2-10,1	9,2-10,0	64,5-66,1	14,3-16,7	-

Середні значення показників якості вугільних шихт, використовуваних для коксування, практично збігаються з розрахунковими значеннями, отриманими за даними табл. 3.1 ( $A^d=9,3\%$ ;  $S_t^d=0,83\%$ ;  $V^{daf}=30,3\%$ ).

Стабільність технологічних властивостей використовуваних для коксування вугільних шихт підтверджується й даними дозування вугільних компонентів, що входять до їхнього складу (табл. 3.4 і 3.5). Середні значення процентного вмісту вугільних компонентів у шихті не відрізняються більш ніж на 0,4 % від заданих.

Таблиця 3.5 – Дозування експериментальної шихти на батареї № 9

Дата	Зміна	Кількість подаваного компонента, т ( %)				Усього, т ( %)
		Розріз «Новоказанський»	ЦЗФ «Дуванская»	Картер Роуг	Покахонтас	
15.11	2	140 (10,1)	140 (10,1)	890 (64,5)	210 (15,2)	1380 (100)
16.11	1	220 (10,2)	220 (10,2)	1390 (64,6)	320 (14,9)	2150 (100)
	2	70 (10,7)	70 (10,7)	420 (64,1)	95 (14,5)	655 (100)
17.11	1	90 (10,1)	90 (10,1)	580 (65,2)	130 (14,6)	890 (100)
	2	60 (10,5)	50 (8,8)	370 (64,9)	90 (15,8)	570 (100)
18.11	1	90 (9,3)	100 (10,3)	640 (66,0)	140 (14,4)	970 (100)
	2	60 (9,5)	60 (9,5)	410 (65,1)	100 (15,9)	630 (100)
19.11	1	90 (9,5)	100 (10,5)	620 (65,3)	140 (14,7)	950 (100)
	2	60 (10,2)	60 (10,2)	380 (64,4)	90 (15,2)	590 (100)
20.11	1	90 (9,4)	100 (10,4)	620 (64,6)	150 (15,6)	960 (100)
Середнє значення		10,0	10,1	64,9	15,0	
Інтервал		9,3-10,7	8,8-10,5	64,1-66,0	14,4-15,9	100

### 3.2 Особливості технологічного режиму

Експериментальна шихта коксувалася на батареях №№ 5, 6 і 9 ПАТ «АКХЗ». Об'єм камери коксування і її висота на батареях №№ 5, 6 становлять, відповідно, 30,3 м<sup>3</sup> і 5,5 м, на батареї № 9 – 41,6 м<sup>3</sup> і 7,0 м.

Гасіння коксу на батареях №№ 5, 6 здійснювалося сухим (~44 % видаваного коксу) і мокрим способами. Кокс, видаваний батареєю № 9, гасився сухим способом. Період коксування на батареях №№ 5, 6 становив 25 годин, задані температури в контрольних вертикалах 1225 і 1255 °С для,

відповідно, машинної й коксової сторін батареї. На батареї № 9 період коксування становив 30 годину 55 хв., задані температури в контрольних вертикалах – 1205 і 1225 °С для, відповідно, машинної й коксової сторін батареї.

Таблиця 3.6 – Характеристика роботи батареї № 9 у дослідному періоді

Дата	Зміна	Період коксування, год.	Температура контрольних вертикалів, °С		Середній ампераж видачі печей, А
			м.с.	к.с.	
17.11	Зміна 1	30,55	1206	1226	300
	Зміна 2	30,55	1205	1225	274
	Зміна 3	30,55	1203	1222	275
18.11	Зміна 1	30,55	1204	1222	295
	Зміна 2	30,55	1201	1223	292
	Зміна 3	30,55	1201	1220	266
19.11	Зміна 1	30,55	1203	1226	310
	Зміна 2	30,55	1200	1221	261
	Зміна 3	30,55	1199	1221	284
20.11	Зміна 1	30,55	1205	1225	287
	Зміна 2	30,55	1204	1225	292
	Зміна 3	30,55	1204	1226	273
21.11	Зміна 1	30,55	1208	1226	287
	Зміна 2	30,55	1204	1224	273
	Зміна 3	30,55	1206	1225	275
22.11	Зміна 1	30,55	1207	1226	274
	Зміна 2	30,55	1203	1224	278
	Зміна 3	30,55	1204	1224	286

У період проведення дослідно-промислових коксувань період коксування й температурний режим були постійними, що підтверджується даними табл. 3.6 і 3.7. На батареях №№ 5, 6 відхилення від заданого значення періоду коксування (25 год 00 хв) не перевищували 5 хв, і були менше допустимих правилами технічної експлуатації ( $\pm 5$  хв). Відхилення температури контрольних вертикалів від її заданих значень (1225/1255 °С) були менше допустимих правилами технічної експлуатації ( $\pm 7$  °С). На батареї № 9 при однакових фактичному й заданому періоді коксування (30 год 55 хв) відхилення температури контрольних вертикалів від заданих значень (1205/1225 °С) також були нижче допустимих правилами технічної експлуатації ( $\pm 7$  °С).

Таблиця 3.7. – Характеристика роботи батарей 5-6 у дослідному періоді  
(коли дві цифри, верхня характеризує батарею № 5, нижня – батарею № 6).

Дата	Зміна	Період коксування, годин	Температура контрольних вертикалів, °З		Середній ампераж видачі печей, А
			м.с.	к.с.	
17.11	Зміна 1	25,00	1224	1260	167 149
	Зміна 2	24,55 25,04	1228	1260	166 145
	Зміна 3	25,00	1228	1258	159 150
18.11	Зміна 1	25,00	1226	1256	170 150
	Зміна 2	24,58 25,04	1227	1257	140 147
	Зміна 3	25,00	1228	1256	161 154
19.11	Зміна 1	25,00	1222	1251	166 149
	Зміна 2	25,00 24,56	1225	1256	144 145
	Зміна 3	25,00	1223	1254	160 145
20.11	Зміна 1	25,00	1223	1252	164 149
	Зміна 2	25,00 24,57	1222	1252	143 144
	Зміна 3	25,00	1224	1256	154 140
21.11	Зміна 1	25,00 25,03	1223	1258	162 150
	Зміна 2	25,00 24,57	1228	1259	164 140
	Зміна 3	25,00	1226	1257	163 143
22.11	Зміна 1	24,58	1228	1260	162 151
	Зміна 2	25,00	1225	1256	157 150
	Зміна 3	25,00	1227	1257	161 150

У період проведення дослідно-промислових коксувань на всіх трьох батареях спостерігалось збільшення амперажу видачі коксу. На батареї № 9 середнє значення амперажу видачі в дослідному періоді склало 282,4 А при

середньому значенні амперажу за період із січня по липень 2010 г, рівному 265,7 А. На батареї № 5 ампераж видачі в дослідному періоді склав 159,1 А при середньому значенні за січень – липень 2010 г рівному 151,6 А. На батареї № 6 ці значення були, відповідно 146,9 і 149,9 А.

Збільшення амперажу видачі коксу з'явилося в наслідок використання в шихті для коксування вугілля Покахонтас, що має підвищений тиск розпирання ( близько 15 кПа).

Для оцінки готовності видаваного коксу використовувалися дані періодичних вимірів його температури оптичним пірометром. Значення температури видаваного коксу для кожної з №№ 5,6 і 9 батарей перебували в інтервалі від 1070 до 1100 °С, що свідчить про високу й практично однакову готовність коксу цих батарей.

### 3.3 Властивості і вихід отриманого коксу

У табл. 3.8 наведені дані про якість доменного коксу батарей № 5-6 і № 9. З наведених даних випливає, що середні значення показників зольності, вмісту сірки й виходу летучих речовин у коксів зазначених батарей практично однакові. Як відзначалося вище, висока зольність вугілля Картер Роуг, вміст якого в шихті становило 65 %, привело до того, що в окремих партіях коксу зольність його перевищувала 12 %. Необхідно відзначити, що значення виходу летучих речовин з дослідних коксів досить низки, що свідчить про високу готовність отриманого на всіх трьох батареях коксу. Трохи більша зольність коксу батареї № 9 може бути пояснена суттєво більшим періодом коксування на цій батареї й тривалим перебуванням усього видаваного коксу у форкамері УСГК.

Показники міцності доменного коксу М25 і М10 батареї № 9 краще, чим у коксу батарей № 5-6.

Так середнє значення показника М25 коксу батареї № 9 складало величину, рівну 88,8 %, а для коксу бат. №5-6 – 88,4 % або на 0,4 % вище.

Відповідно середнє значення показника M10 у коксу батареї № 9 склало 7,4 %, а в коксу батарей №5-6 – величину, рівну 7,65 %, або на 0,25 % вище.

Таблиця 3.8 – Показники якості доменного коксу батарей у дослідному періоді

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Міцність коксу, %		Вміст в товарному коксі (%) класів крупності, мм	
		W <sub>r</sub> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	V <sup>daf</sup> , %	M25	M10	+80	-25
17.11	3	4,9	11,8	0,90	0,3	88,3	7,9	8,2	4,5
18.11	1	4,8	12,0	0,77	0,5	88,0	8,1	7,4	5,6
	2	4,5	12,1	0,72	0,5	88,2	8,1	7,1	5,2
	3	4,8	12,1	0,72	0,3	88,4	8,0	8,5	5,3
19.11	1	4,4	12,0	0,70	0,5	88,0	8,2	6,4	5,7
	2	5,0	11,9	0,70	0,6	88,2	8,0	8,2	5,4
	3	4,9	12,1	0,71	0,3	88,0	8,0	7,6	5,7
20.11	1	3,5	12,0	0,65	0,3	88,4	7,7	6,3	5,8
	2	3,0	12,2	0,73	0,5	88,6	7,6	13,1	5,5
	3	3,0	11,7	0,74	0,5	88,4	7,8	8,1	5,1
21.11	1	4,8	11,7	0,67	0,5	88,7	6,0	6,0	5,8
	2	4,8	11,7	0,69	0,5	89,3	6,9	14,0	5,3
	3	3,0	11,8	0,66	0,6	87,1	6,8	6,9	5,4
22.11	1	2,4	11,9	0,67	0,6	87,9	8,0	12,0	5,0
	2	2,7	11,8	0,67	0,5	88,2	7,7	8,5	4,9
	3	2,9	11,7	0,67	0,3	88,6	7,6	10,8	4,7
Середнє значення		4,0	11,9	0,71	0,46	88,4	7,65	8,7	5,3
Інтервал		2,4-5,0	11,7-12,2	0,65-0,77	0,3-0,6	87,1-89,3	6,0-8,2	6,0-14,0	4,7-5,8

Слід зазначити, що розрив у показниках міцності коксу для батарей № 5-6 і № 9 може бути суттєво більшим, якщо виключити з масиву даних значення, що явно випадають по різних причинах.

Важко пояснити значення показників міцності коксу батарей № 9 за 27, 28 і 30 серпня. Якщо ці дані виключити, то значення показників міцності дослідного коксу батареї № 9 складуть відповідно M25=89,7 % і M10=6,8 %.

Аналогічна ситуація має місце й для коксів батарей № 5-6. Дані по міцності за 31 серпня різко відрізняються в кращу сторону від основної маси результатів. У зв'язку із цим, виключивши їх із загальної вибірки, ми одержимо значення M25, рівне 88,2 %, і M10, рівне 7,9 %.

Таким чином, розрив по показниках міцності між коксами батарей № 5-6 і № 9 збільшиться й наблизиться до того, який відповідає численним експериментальним і практичним даним. Так, показник M25 коксу батареї № 9 на 1,5 % вище, чим у коксу батарей № 5-6, а показник M10 на 1,1 % нижче.

Для дослідних коксів визначали також показники реакційної здатності коксу (CRI) і післяреакційної міцності (CSR) по ДСТУ 4703: 2006. Отримані дані наведені в табл. 3.9. Аналіз показує, що величини реакційної здатності (CRI) і післяреакційної міцності коксу (CSR) батарей № 5-6 і № 9 досить близькі між собою. Так показник CRI у коксу батарей № 5-6 склав величину, рівну 41,35 %, а в коксу батареї № 9 – 38,91 %. Показник CSR коксу батареї № 5-6 рівний 41,41 %, а коксу батареї № 9 – 44,06 %. Таким чином, кокс батареї № 9 трохи кращий за цими показниками, ніж кокс батарей №5-6.

У ході проведення дослідних коксувань на батареях № 5-6 відбиралися й досліджувалися роздільно проби коксу мокрого й сухого гасіння.

Таблиця 3.9 – Реакційна здатність (CRI) і післяреакційна міцність (CSR) дослідних коксів

Батарея, спосіб гасіння коксу	Дата	Реакційна здатність, %	Післяреакційна міцність, %
№ 5-6 (змішане гасіння)	18.11	38,61	45,93
	19.11	44,93	34,07
	20.11	41,32	44,10
	21.11	40,56	41,56
Середнє значення		41,35	41,41
№ 5-6 (мокре гасіння)	20.11	39,49	46,81
	21.11	43,26	38,48
Середнє значення		41,38	42,64
№ 5-6 (сухе гасіння)	21.11	43,80	35,47
№ 9 (сухе гасіння)	18.11	39,09	42,64
	19.11	43,92	34,78
	20.11	35,26	50,44
	21.11	37,39	48,36
Середнє значення	-	38,91	44,06

Як видно (табл. 3.9), кокс мокрого гасіння батарей № 5-6 за рівнем значень CRI і CSR аналогічний коксу цих батарей змішаного гасіння, що

говорить про перевагу в товарній масі коксу мокрого гасіння. У той же час низькі значення CRI і CSR коксу сухого гасіння батарей №5-6 не піддаються поясненню.

Отримані значення показників CRI і CSR коксу обумовлені підвищеними значеннями індексів основності компонентів вугільної шихти в цілому. Проведені в УХІНі визначення хімічного складу золи й вугільних компонентів шихт, що надходили у вугільні вежі батарей №№ 5-6 і 9 (табл. 3.10) показали, що індекси основності склали: розріз «Новоказанський» – 2,72; ЦЗФ «Дуванская» – 8,12; Покахонтас – 1,97. Внаслідок того, що вугілля Картер Роуг є основним компонентом вугільної шихти, хімічний склад його золи був визначений у двох пробах. Дані дослідження показали, що індекси основності вивчених проб відрізняються між собою й становлять величини рівні 3,11 і 8,28. Виходячи з наведених даних, значення індексів основності вугільних шихт могли становити величини від 3,40 до 6,76.

Таблиця 3.10 – Хімічний склад і індекси основності вугільних компонентів і експериментальних шихт

Найменування проби	Марка	Хімічний склад золи, %							Індекс основності	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	DO <sub>2</sub> O	I <sub>0</sub>	I <sub>0</sub>
Розріз Новоказанський	Г	46,5	25,11	11,97	1,64	3,86	1,20	2,33	2,72	0,29
ЦЗФ "Дуванская"	Ж	38,7	21,89	28,73	1,26	2,1	0,56	1,94	8,12	0,57
Картер Роуг (США)	Ж	46,8	28,97	8,48	1,26	3,85	0,71	2,00	3,11	0,22
Картер Роуг (США)	Ж	38,33	24,46	23,94	1,01	3,5	0,75	1,89	8,28	0,50
Покахонтас (США)	НЛК	54,28	25,75	11,47	0,88	1,58	0,37	2,13	1,97	0,21
шихта батарей №5-6		47,45	27,69	10,97	0,88	3,51	0,69	2,05	3,20	0,24
шихта батареї № 9		46,25	27,36	10,72	1,13	3,15	0,89	2,05	3,24	0,24

Враховуючи ці обставини (у першу чергу коливання хімічного складу золи основного компонента вугільної шихти – вугілля Картер Роуг), можна



пояснити факт коливань показників CRI від 35,39 до 44,93 % і CSR від 50,44 до 34,07 %.

У рамках даних досліджень був визначений впливу способу гасіння коксу на прогнозну величину цих показників і вихід валового коксу.

Незважаючи на те, що є багато досліджень по визначенню виходу коксу з вугільних шихт як у лабораторних, так і в промислових умовах [20, 21], дотепер відсутні залежності, що дозволяють із достатньої для практичних цілей точністю прогнозувати вихід коксу залежно від складу шихти й умов виробництва.

У зв'язку із цим і при відсутності експериментальних даних у галузевій інструкції рекомендується визначати вихід валового коксу за даними попереднього періоду з урахуванням очікуваного зміни виходу летучих речовин по формулі:

$$B_{\text{кпл}} = B_{\text{кф}} + (V_{\text{ф}}^{\text{д}} - V_{\text{пл}}^{\text{д}}) K, \quad (3.1)$$

де  $B_{\text{кпл}}$ ,  $B_{\text{кф}}$  – вихід сухого валового коксу, очікуваний, відповідно в планований період і той, що склався в попередній період, %;

$V_{\text{ф}}^{\text{д}}$ ,  $V_{\text{пл}}^{\text{д}}$  – вихід летучих речовин із сухої шихти, відповідно в той, що склався в попередній період, й очікуваний у планованому періоді, %;

$K$  – коефіцієнт, що враховує зміну виходу валового коксу при зміні виходу летучих речовин.

Величина  $K$  визначається підприємством розрахунковим або експериментальним шляхом (середнє за практичним даними величина  $K=0,7$ ). Значення виходу летучих речовин із шихти для батарей № 5, 6 і 9 становили, відповідно 29,94 і 29,43 %, а вихід сухого валового коксу із сухої шихти – 75,36 і 72,17 %.

При середніх за дослідний період значеннях виходу летучих речовин із сухої шихти 27,0 і 26,8 % для, відповідно, батарей № 5, 6 і 9 прогнозні значення

виходу коксу ( відповідно до наведеної вище формули) становлять для батарей № 5, 6 – 77,4 %, для батареї № 9 – 74,0 %.

### 3.4 Коксування дослідної шихти у супутниках

Оцінку впливу способу гасіння коксу на показники його гарячої міцності й прогностні величини виходу валового коксу проводили на батареях №№ 5, 6 і 9 також по методу малих навішень – супутників. Сутність методу полягає в коксуванні фіксованого навішення шихти, поміщеної в спеціальну капсулу (супутник) з отворами для виходу летучих продуктів коксування. Об'єм супутника становить 4176 дм<sup>3</sup>. Для мокрого гасіння було виготовлено 10, для сухого – 15 супутників. Маса сухої шихти, що завантажується в супутник, становила 2914 г. Для кожної печі партія складалась з 3 супутників.

Супутники кидали в піч у середній люк після спорожнювання крайніх бункерів завантажувального вагона. Супутники розташовувалися приблизно по середині висоти печі (3,0-3,5 м від поду). Для дослідження печі бралися з однаковими ( $\Delta t \leq \pm 5$  °C) середніми значеннями температури поду 6 вертикалів, що примикають до середнього люка й стін камер під середнім люком. Кокс із супутників після УСГК висушували протягом 6 годин при температурі 120 °C и зважували. Кокс із супутників після мокрого гасіння висушували протягом 24 годин при температурі 120 °C и зважували. Дані за умовами коксування й виходу коксу із супутників наведено в таблиці 3.11.

При визначенні прогностних величин виходу валового коксу за даними супутникових коксувань урахувалося, що в технологічному ланцюжку від коксової батареї до відвантаження є втрати коксу за рахунок виносу пилу:

- при видачі печей;
- при завантаженні УСГК;
- на свічах форкамери, надлишкового теплоносія й вентиляційних викидів;
- на коксосортировці при відвантаженні коксу.

Таблиця 3.11 – Режим коксування й вихід коксу

Характеристика	Спосіб гасіння коксу	
	мокре	сухе
Період коксування, год., хв.	25,00	30,55
Середня температура 6 вертикалів, що примикають до середнього люка, °С	1241	1216
Середня температура стінок, що гріють, на середині висоти печі під середнім люком, °С	1128	1126
Маса в супутнику сухої шихти, середня, г	2914	2914
Маса в супутнику сухого коксу, середня, г	2238	2200
Вихід коксу із супутників, %	76,8	75,5

Оскільки кокс у супутниках перебуває в металевому корпусі, він практично не бере участь у пилоутворенні, що трохи завищує результати.

Важливою складовою, що завищує величину виходу валового коксу, є його згоряння в коксовозному вагоні. Супутники, розташовувані усередині засипу, захищені від контакту з атмосферним повітрям, завдяки чому кокс супутників не горить, тоді як розпечений кокс у вагоні, згоряючи, зменшує свою масу.

Для визначення прогнозованої величини виходу валового коксу  $V_k$  за даними супутникових коксувань використовувалися наступні формули:

- при сухім гасінні коксу:

$$V_{kc} = V_{скс} - П_{г} - (П_{вк} + П_{кк} + П_{уцгк}); \quad (3.2)$$

- при мокрому гасінні коксу:

$$V_{км} = V_{скм} - П_{зг} - (П_{вк} + П_{кк}), \quad (3.3)$$

де  $V_{кк}^c$ ,  $V_{км}^c$  – відповідно вихід коксу супутників при сухому і мокрому гасінні;

$П_{зг}$  – втрати коксу при згорянні в коксовозному вагоні;

$P_{\text{вк}}$  – втрати коксу за рахунок виносу пилу при видачі печей;

$P_{\text{кc}}$  – втрати коксу за рахунок виносу пилу на коксортировці при відвантаженні споживачеві;

$P_{\text{уcгк}}$  – втрати коксу на УСГК за рахунок виносу пилу на свічах форкамери, надлишкового теплоносія й вентиляційних викидів.

Для оцінки втрат коксу за рахунок виносу пилу використані звітні дані за 2007 р. по питомих викидах пилу на батареях № 5, 6 і 9 Авдіївського КХЗ, згідно з якими сумарні втрати коксу за рахунок виносу пилу при мокрім гасінні становлять – 300 г/т валового коксу, або 0,03 %.

При сухім гасінні коксу безповоротні втрати його за рахунок виносу пилу на свічах форкамери, надлишкового теплоносія й вентиляційних викидів становили  $\sim 1,7$  кг/т сухого валового коксу, або 0,17 %, а загальні втрати коксу з урахуванням втрат на коксортировці –  $(0,17+0,05) = 0,22$  %.

Величина втрат валового коксу за рахунок виносу пилу складе (% абс.):  
для сухого гасіння

$$0,22 \cdot 0,755 = 0,17 \%,$$

для мокрого гасіння

$$0,03 \cdot 0,768 = 0,02 \%,$$

де 0,755 і 0,768 – величина виходу валового коксу із шихти при, відповідно, сухім і мокрім гасінні, частки одиниці.

Втрати коксу від згоряння в коксовозному вагоні визначалися по формулі:

$$P_r = 1,4 \cdot F_v \cdot \tau_r \cdot \frac{70}{3600}, \quad (3.4)$$

де 1,4 – коефіцієнт, що враховує збільшення площі вільної поверхні коксу у вагоні за рахунок конічної форми;

$P_v$  – площа вагона в горизонтальній площині,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_r$  – час від початку видачі коксу у вагон до початку його гасіння, с;

70 – коефіцієнт втрати маси коксу при горінні,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$ ;

3600 – коефіцієнт перекладу секунд у години.

Для коксовозного вагона УСГК  $P_v$  становить  $\sim 25$ , а для гасильного вагона  $\sim 50 \text{ м}^2$ . Середня тривалість  $\tau_r$  при сухім гасінні становить  $\sim 8,5$ , а при мокрому  $\sim 1,5 \text{ хв}$ .

Розраховані по цій формулі величини втрат валового коксу від згоряння в коксовозному вагоні становлять 347 і 112 кг/піч відповідно при сухім і мокрому гасінні, або 1,65 і 0,66 % при виході валового коксу з печі  $\sim 22 \text{ т}$  при сухому й 17 т при мокрому гасінні коксу. Величина втрат валового коксу за рахунок його згоряння в гасильному вагоні складе ( % абс.):

для сухого гасіння

$$1,65 \cdot 0,755 = 1,25 \text{ \%},$$

для мокрого гасіння

$$0,66 \cdot 0,768 = 0,51 \text{ \%}.$$

З урахуванням викладеного прогнозне значення виходу валового коксу складе (% абс):

для сухого гасіння

$$75,5 - 1,25 - 0,15 = 74,1 \text{ \%}.$$

для мокрого гасіння

$$76,8 - 0,51 - 0,02 = 76,27 \text{ \%}.$$

## 4 ДРУГИЙ ЕТАП ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО КОКСУВАННЯ ШИХТИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ВУГІЛЛЯ ЗІ США

### 4.1 Склад і властивості дослідної шихти

При дослідно-промисловім коксуванні використовувалися вугілля наступних марок: ВЛК (ш. Велмор), НЛК (Покахонтас), ССОМ (Кедровський розріз), ГЖО (ш. Воргашерская), К (Юн'ягинський розріз), К (ЦЗФ Колосниковська (шахта Суходольська Східна)).

Дослідно-промислове коксування шихти постійного марочного й компонентного складу проводилося в три етапи:

- перший етап на коксових батареях № 5, 6;
- другий етап на коксовій батареї № 9;
- третій етап.

Під час проведення дослідно-промислових коксувань шихти дозувальне відділення цеху підготовки вугілля № 2 працювало задовільно, зупинки й збої були відсутні.

Рівномірність заданого марочного складу по марках вугілля коливалася в межах декількох відсотків. Коливання марочного складу пов'язане з технічними характеристиками дозаторів – погрішність дозування при номінальній навантаженні 4 %.

Враховуючи той факт, що американське вугілля перед використанням перебувало у тривалому транспортуванні через океан, представлялося доцільним визначення ступеня його окисленості за методикою УХІНА. Проведені в ЦЗЛ ПАТ «АКХЗ» дослідження показали, що шихта, відібране з бункера загрузвагону вугілля є не окисленим.

У ході проведення I етапу дослідно-промислових коксувань на коксових батареях № 5, 6 коксувався наступний варіант марочного складу шихти:

ВЛК (ш. Велмор)

– 50 %

НЛК (Покахонтас)	– 20 %
ССОМ (Кедровський розріз)	– 10 %
ГЖО (ш. Воргашерская)	– 10 %
К (ЦЗФ Колосниковська)	– 10 %

Таблиця 4.1 – Технологічні властивості вугільної шихти для батарей №

5-6

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливи 0-3 мм, %	Пластометричні показники, мм	
		W <sub>r</sub>	A <sup>d</sup>	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>		X	Y
25.11	1	8,0	8,2	0,95	27,0	84,9	30	15
	2	7,5	8,6	1,03	29,5	81,2		
26.11	1	7,1	8,6	0,98	28,3	81,6	33	15
	2	6,1	9,1	0,98	28,7	81,1		
27.11	1	6,6	8,9	0,99	29,2	77,3	-	-
	2	8,6	8,5	0,94	27,9	80,9		
28.11	1	8,0	8,7	1,01	28,6	83,1	-	-
	2	8,3	9,1	1,10	28,8	83,3		
Середнє значення		7,5	8,7	0,99	29,5	81,7	31,5	15
Інтервал		7,1-8,6	8,2-9,1	0,94-1,10	27,0-29,5	77,3-84,9	30-33	-

Властивості шихти наведені в табл. 4.1.

Середні результати петрографічних досліджень наступні. Вміст вітриніта 78,6 %, показник відбиття вітриніта 1,15, сума компонентів, що описують, 19,5 %.

У ході проведення II етапу дослідно-промислових коксування на коксовій батареї № 9 коксувався наступний варіант марочного складу шихти:

ВЛК (ш. Велмор)	– 50 %
НЛК (Покахонтас)	– 20 %
ССОМ (Кедровський розріз)	– 10 %
ГЖО (ш. Воргашерская)	– 10 %
К (Юн'ягинський розріз)	– 10 %

Таблиця 4.2 – Технологічні властивості вугільної шихти для батареї

№ 9

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливи 0-3 мм, %	Пластометричні показники, мм	
		W <sub>r</sub>	A <sup>d</sup>	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>		X	Y
24.11	1	9,2	8,9	0,97	30,3	84,2	30	15
	2	8,1	9,1	0,90	28,3	83,6		
25.11	1	7,6	8,5	0,89	29,0	84,3	-	-
	2	8,1	8,8	0,94	29,4	79,1		
26.11	1	6,9	8,4	0,93	28,9	84,7	34	14
	2	8,1	8,0	0,97	28,6	82,8		
27.11	1	7,4	8,8	0,95	29,1	83,5	-	-
	2	8,0	9,1	1,00	28,8	82,5		
28.11	1	6,2	9,2	0,96	29,6	78,5	-	-
Середнє значення		7,7	8,8	0,95	29,1	82,5	32	14,5
Інтервал		9,2-6,2	9,2-8,0	0,89-1,00	30,3-28,3	78,5-84,7	30-34	14-15

Властивості шихти наведені в табл. 4.2.

Середні результати петрографічних досліджень склали. Вміст вітриніта 76,8 %, показник відбиття вітриніта 1,135, сума компонентів, що охоплюють, 20,5 %.

У ході проведення III етапу дослідно-промислових коксування на коксових батареях № 5, 6, 9 коксувався наступний варіант марочного складу шихти:

ВЛК (ш. Велмор)	– 55 %
НЛК (Покахонтас)	– 20 %
ГЖО (ш. Воргашерская)	– 10 %
К (Юн'ягинський розріз)	– 10 %
ССОМ (Кедровський розріз)	– 5 %

Властивості шихти наведені в табл. 4.3, 4.4.

Середні результати петрографічних досліджень шихти 5, 6 батарей склали. Вміст вітриніта 77,8 %, показник відбиття вітриніту 1,102, сума компонентів, що опіснюють, 19 %.



Таблиця 4.3 – Технологічні властивості вугільної шихти, коксуемой на батареї № 5, 6

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливи 0-3 мм, %	Пластометричні показники, мм	
		W <sub>r</sub>	A <sup>d</sup> ,	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>		X	Y
29.11	1	6,7	8,8	0,99	29,1	77,3	29	15
	2	5,6	9,0	0,97	29,9	80,7		
30.11	1	7,8	8,6	0,95	28,7	83,0	-	-
	2	7,0	8,8	0,93	28,3	80,7		
01.12	1	7,1	9,0	1,06	30,4	82,3	32	15
	2	7,0	8,6	1,03	30,6	82,9		
02.12	1	8,6	8,5	1,04	29,5	84,2	-	-
Середнє значення		7,1	8,8	0,99	29,5	81,6	30,5	15
Інтервал		5,6-8,6	8,5-9,0	0,93-1,06	28,3-30,6	84,2-77,3	29-32	-

Таблиця 4.4 – Технологічні властивості вугільної шихти для батареї № 9

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Мливи 0-3 мм, %	Пластометричні показники, мм	
		W <sub>r</sub>	A <sup>d</sup> ,	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>		X	Y
29.11	1	7,7	8,6	1,00	28,4	83,6	32	16
	2	7,7	8,8	0,93	28,9	83,7		
30.11	1	7,8	8,7	0,96	28,8	83,4		
	2	8,0	8,7	0,97	28,1	83,1		
01.12	1	6,5	9,1	0,97	28,7	77,0	31	15
	2	8,4	8,6	1,00	28,4	81,7		
02.12	1	8,5	8,5	1,03	30,2	83,5		
Середнє значення		7,8	8,7	0,98	28,8	82,3	31,5	15,5
Інтервал		6,5-8,5	8,5-9,1	1,03-0,93	28,1-30,2	77,0-83,7	31-32	15-16

Середні результати петрографічних досліджень шихти 9 батареї склали: вміст вітриніта 76,4 %, показник відбиття вітриніта 1,135, сума компонентів, що опіснюють, 21 %.

#### 4.2 Технологічний режим під час дослідного-промислового коксування

Під час проведення дослідно-промислових коксувань у коксовому цеху № 2 (5, 6 батареї) фактичний період коксування становив 19 годин 24 хвилини.

Задані температури в контрольних вертикалах по коксовій батареї № 5:

- з машинної сторони 1245 °С;
- з коксової сторони 1285 °С.

Задані температури в контрольних вертикалах по коксовій батареї № 6:

- з машинної сторони 1245 °С;
- з коксової сторони 1285 °С.

Рівномірність обігріву була задовільною – відповідала Правилам технічної експлуатації.

На час проведення дослідно-промислових коксувань у коксовому цеху № 4 (батарея № 9) фактичний період коксування становив 19 годин 20 хвилин.

Задані температури в контрольних вертикалах по коксовій батареї № 9:

- з машинної сторони 1235 °С;
- з коксової сторони 1275 °С.

Рівномірність обігріву відповідала Правилам технічної експлуатації.

Для запобігання тугого ходу й розклинення коксового пирога при його видачі завантаження шихти в бункера вуглезавантажувальних вагонів було скореговане.

Протягом усього дослідно-промислового коксування (II, III етапи) спостерігається деяке підвищення амперажу при видачі коксу батареї № 9, що є наслідком участі в шихті вугілля, що має підвищений тиск розпирання.

Середній ампераж по коксовій батареї № 9 (наведені показники середнього амперажу взяті за рівні проміжки часу):

- до проведення дослідно-промислових коксувань становив 282 А;
- під час проведення дослідно-промислових коксувань становив 296 А;
- після проведення дослідно-промислових коксувань становив 276 А.

#### 4.3 Якість коксу, отриманого з дослідної шихти

Кокс, отриманий з експериментального складу шихти в першому етапі дослідно-промислового коксування в коксовому цеху № 2, гасився сухим і мокрим способом і мав наступні якісні показники (табл. 4.5)

При порівнянні показників відзначається (при аналізі показників використовувалися середні арифметичні значення показників коксу до і після проведення дослідно-промислових коксувань):

- зниження вмісту золи в середньому на 0,3 % за рахунок зниження вмісту золи у вихідній сировині;
- зниження вмісту сірки в межах 0,3 % за рахунок зниження вмісту сірки у вихідній сировині;
- вихід летучих речовин залишився на колишньому рівні в межах 0,6 %, що свідчить про високу готовність коксу;

Таблиця 4.5 – Показники якості доменного коксу батарей № 5, 6 у дослідному періоді

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Міцність коксу, %		Вміст в товарному коксі (%) класів крупності, мм	
		W <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>	M25	M10	-25	+80
25.11	1	2,9	11,4	0,89	0,6	88,2	7,8	2,8	7,2
	2	2,9	12,4	1,20	0,5	87,9	7,6	3,2	4,6
	3	5,7	11,2	0,94	0,5	85,9	8,4	3,6	2,8
26.11	1	3,6	12,3	0,84	0,6	87,6	6,8	2,9	6,4
	2	3,8	11,5	0,87	0,5	86,6	6,4	2,9	3,1
	3	3,7	11,5	0,90	0,5	86,6	6,2	3,4	4,7
27.11	1	3,2	11,7	0,85	0,6	86,9	6,2	2,9	5,2
	2	3,6	11,6	0,81	0,7	86,6	6,4	2,8	4,1
	3	3,7	12,6	0,82	0,5	86,6	6,7	2,9	2,7
28.11	1	3,5	11,8	0,85	0,6	88,8	6,6	3,4	5,7
	2	3,5	11,4	0,83	0,7	87,8	7,2	3,5	4,6
29.11	1	3,4	11,7	0,84	0,5	89,2	6,6	3,6	3,0
	2	2,6	11,4	0,89	0,7	88,8	6,8	3,7	2,7
	3	3,5	12,0	0,90	0,60	87,8	7,0	3,5	3,5
Середнє значення		3,54	11,8	0,89	0,58	87,5	6,9	3,2	4,3
Інтервал		2,6-5,7	11,2-12,6	0,81-1,2	0,5-0,7	85,9-89,2	6,2-8,4	2,8-3,7	2,7-7,2

- показник механічної міцності M25 коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить 1,9 %, що свідчить про погіршення якості коксу;

- показник стиранності M10 коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить до 0,1 %;

- збільшення показника засміченості коксу (вміст класу 0-25 мм) до 0,3 %, що свідчить про погіршення якості коксу.

- показник вмісту класу +80 мм коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить 2,7 %, що свідчить про поліпшення якості коксу. У цілому показники якості коксу перебувають у межах норм установлених технічними умовами ТУ 322-00190443-114-96 «Кокс доменний».

Показники CRI і CSR склали відповідно:

- при мокрім гасінні 42,55 % і 35,33 % (середнє по двох пробах);

- при сухім гасінні 31,41 % і 55,06 %.

Кокс, отриманий з експериментального складу шихти протягом другого етапу дослідно-промислового коксування в коксовому цеху № 4, після видачі з печей гасився сухим способом і мав наступні якісні показники (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Показники якості доменного коксу батареї № 9 у дослідному періоді

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Міцність коксу, %		Вміст в товарному коксі ( %) класів крупності, мм	
		W <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>	M25	M10	-25	+80
25.11	2	0,2	11,4	0,92	0,3	89,4	7,2	3,4	5,5
26.11	1	0,4	11,5	0,80	0,5	89,2	7,0	3,7	4,7
27.11	1	0,2	11,6	0,81	0,5	89,6	6,4	2,5	5,3
28.11	1	0,2	11,6	0,78	0,5	89,4	6,6	3,5	3,1
29.11	1	0,3	11,3	0,82	0,3	90,4	6,4	4,0	2,8
Середнє значення		0,26	11,48	0,83	0,42	89,6	6,72	3,42	4,28
Інтервал		0,2-0,4	11,3-11,6	0,78-0,92	0,3-0,5	89,2-90,4	6,4-7,2	2,5-4,0	2,8-5,5

При порівнянні показників відзначається (при аналізі показників використовувалися середні арифметичні значення показників коксу до і після проведення дослідно-промислових коксувань):

- зниження вмісту золи в середньому на 0,4 % за рахунок зниження вмісту золи у вихідній сировині;
- зниження вмісту сірки в межах 0,3 % за рахунок зниження вмісту сірки у вихідній сировині;
- вихід летучих речовин залишився на колишньому рівні в межах 0,4 %, що свідчить про високу готовність коксу;
- зниження показника механічної міцності M25 становить 0,9 %, що свідчить про погіршення якості коксу;
- показник стиранності M10 коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому збільшення становить до 0,1 %.- показник вмісту класу +80 мм коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить 1,8 %, що свідчить про поліпшення якості коксу.

У цілому показники якості коксу перебувають у межах норм установлених технічними умовами ТУ В 322-00190443-114-96 «Кокс доменний». Показники CRI і CSR склали відповідно 31,60 % і 52,73 % (середнє по двом пробам).

Кокс, отриманий з експериментального складу шихти протягом третього етапу дослідно-промислового коксування на коксових батареях № 5, 6, гасився сухим і мокрим способом і мав наступні якісні показники (табл. 4.7).

При порівнянні показників відзначається (при аналізі показників використовувалися середні арифметичні значення показників коксу до (01-24. 10. 2010.) і після проведення дослідно-промислових коксувань):

- зниження вмісту золи в середньому на 0,3 % за рахунок зниження вмісту золи у вихідній сировині;
- зниження вмісту сірки в межах 0,4 % за рахунок зниження вмісту сірки у вихідній сировині;

- зниження виходу летучих речовин у межах 0,1 %;
- зниження показника механічної міцності M25 становить 2,6 %, що свідчить про погіршення якості коксу;
- показник стираності M10 коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить до 0,2 %;
- збільшення показника засміченості коксу (вміст класу 0-25 мм) до 0,1 %, що свідчить про погіршення якості коксу;

Таблиця 4.7 – Показники якості доменного коксу батарей № 5, 6 у дослідному періоді

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Міцність коксу, %		Вміст в товарному коксі (%) класів крупності, мм	
		W <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>	M25	M10	-25	+80
30.11	1	3,1	11,9	0,77	0,3	87,0	6,6	3,6	4,2
	2	3,5	11,9	0,78	0,5	86,4	7,0	3,4	3,1
	3	3,3	11,6	0,77	0,3	86,6	6,8	3,5	2,3
01.12	1	2,6	12,2	0,83	0,3	86,7	6,6	2,9	4,4
	2	2,4	11,9	0,82	0,3	87,0	6,6	2,8	5,1
	3	3,7	11,8	0,83	0,5	86,2	7,2	2,7	7,0
02.12	1	3,3	11,6	0,83	0,6	87,8	6,8	2,8	4,6
	2	3,5	11,4	0,82	0,5	88,0	7,2	2,8	7,4
	3	2,8	11,5	0,80	0,6	88,2	7,4	2,7	8,6
Середнє значення		3,1	11,8	0,80	0,43	87,1	6,9	3,0	5,2
Інтервал		2,4-3,7	11,4-12,2	0,77-0,83	0,3-0,6	86,2-88,2	6,6-7,4	2,7-3,6	2,3-8,6

- показник вмісту класу +80 мм протягом усього дослідно-промислового коксування в широких межах від 2,3 % до 8,6 %, у середньому зниження становить 2,2 %, що свідчить про поліпшення якості коксу.

Показники CRI і CSR склали відповідно 42,90 % і 37,37 % (середнє по двом пробам). Кокс гасили мокрим способом.

Кокс, отриманий з експериментального складу шихти протягом третього етапу дослідно-промислового коксування в коксовому цеху № 4, після видачі з печей гасився сухим способом і мав наступні якісні показники (табл. 4.8).

При порівнянні показників відзначається:

- зниження вмісту золи в середньому на 0,6 % за рахунок зниження вмісту золи у вихідній сировині;

Таблиця 4.8 – Показники якості доменного коксу батареї № 9 у дослідному періоді

Дата	Зміна	Технічний аналіз, %				Міцність коксу, %		Вміст в товарному коксі (%) класів крупності, мм	
		W <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>	M25	M10	-25	+80
30.11	1	0,3	11,3	0,84	0,3	90,2	6,8	3,9	4,1
	2	0,2	11,3	0,82	0,3	90,6	6,6	4,0	3,8
01.12	1	0,3	11,4	0,85	0,3	90,6	6,4	3,2	3,4
	2	0,2	11,5	0,83	0,5	90,2	6,6	3,7	3,9
02.12	1	0,2	11,6	0,85	0,3	90,2	6,2	3,5	4,9
Середнє значення		0,24	11,4	0,84	0,34	90,4	6,5	3,7	4,0
Інтервал		0,2-0,3	11,3-11,6	0,82-0,85	0,3-0,5	90,2-90,6	6,2-6,8	3,2-4,0	3,4-4,9

- зниження вмісту сірки в межах 0,4 % за рахунок зниження вмісту сірки у вихідній сировині;

- зниження виходу летучих речовин у межах 0,1 %;

- збільшення показника механічної міцності M25 становить 0,2 %, що свідчить про поліпшення якості коксу;

- зниження показника стираності M10 становить 0,3 %, що свідчить про поліпшення якості коксу;

- збільшення показника засміченості коксу (вміст класу 0-25 мм) до 0,5 %, що свідчить про погіршення якості коксу;

- показник вмісту класу +80 мм коливався протягом усього дослідно-промислового коксування, у середньому зниження становить 2,1 %, що свідчить про поліпшення якості коксу.

Отримані дані свідчать про те, що спосіб гасіння впливає на показники реакційної здатності й післяреакційної міцності коксу отриманого з експериментальних складів шихт.

При порівняльному аналізі показників реакційної здатності коксу CRI, погашеного сухим способом, спостерігається тенденція до зниження (поліпшенню) показника в середньому на 12,5 % відносно коксу, погашеного мокрим способом.

При порівняльному аналізі показників післяреакційної міцності коксу CSR, погашеного сухим способом, спостерігається тенденція до збільшення (поліпшенню) показника в середньому на 20,1 % відносно коксу, погашеного мокрих способом.

Кокс, отриманий з експериментальних складів шихт, погашений сухим способом показав високі якісні показники реакційної здатності CRI ~30 % і післяреакційної міцності CSR ~56 %. У той час як у коксі «змішаного» гасіння ці показники були значно гірше, що пояснюється великим вмістом коксу мокрого гасіння й усередненням показників.

Кокс, отриманий з марочного складу шихти в III етапі дослідно-промислового коксування й погашений сухим способом, показав найкращі результати по показниках реакційної здатності CRI ~29,6 % і післяреакційної міцності CSR ~57,5 %.

Отримані дані свідчать про можливість одержання коксу з високими показниками реакційної здатності CRI ~30 % і післяреакційної міцності CSR ~55 %. Для цього необхідно використовувати шихту марочного складу ВЛК (ш. Велмор) – 55 %; НЛК (Покахонтас) – 20 %; ГЖО (ш. Воргашерская)-10 %; К (Юн'ягинський розріз) – 10 % ;ССОМ (Кедровський розріз) – 5 % за умови гасіння коксу сухим способом.



## 5 ВИБІР МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ CRI І CSR З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ EXCEL

### 5.1 Загальна характеристика програмного пакету Excel

Обробку результатів експерименту проводили за допомогою пакету прикладних програм Excel 2010.

Це дозволило значно скоротити і полегшити проведення необхідних розрахунків, майже повністю виключити виконання рутинних операцій, зменшити час, який витрачається на обробку результатів.

Інтерфейс користувача Microsoft Office Fluent, наочна візуалізація даних і представлення зведеної таблиці спрощують створення і використання професійно оформлених діаграм.

При спільному використанні електронних таблиць в Office Excel і службах Excel можна переглядати, сортувати, фільтрувати і вводити параметри, а також взаємодіяти з уявленнями зведеної таблиці безпосередньо в веб-браузері.

### 5.2 Вибір математичної моделі

Як показує літературний огляд для прогнозування величин CRI і CSR існує велика кількість різних залежностей. Це обумовлене відмінністю сировинної бази, яка використовувалася при коксуванні й для якої визначалися відповідні залежності. Однак в основі більшості з них лежить статистична залежність від невеликої групи факторів. У якості факторів практично завжди виступають один або кілька показників, що характеризують склад і властивості мінеральної частини вугілля, ступінь метаморфізму, кількість сірки.

За результатами виконаних в УХІНі досліджень для шихт із вмістом сірки більше 1 % реакційна здатність коксу в % прогнозується по рівнянню [5]

$$CRI = 14,18 + 12,39 \cdot S_{u}^d + 0,376 \cdot V_{u}^{daf}, \quad (5.1)$$

де  $S_{u}^d$  – загальний вміст сірки в сухій шихті, %;

$V_{u}^{daf}$  – вихід летучих із шихти на суху беззольну масу, %.

Для шихт із меншим вмістом сірки прогнозне рівняння має такий вигляд:

$$CRI = 13,39 + 9,35 \cdot I_0 - 0,45 \cdot I_0^2, \quad (5.2)$$

де  $I_0$  – індекс основності вугільної шихти:

$$I_0 = \frac{A_{u}^d \cdot (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V_{u}^{daf}) \cdot (SiO_2 + Al_2O_3)} \cdot 100, \quad (5.3)$$

$A_{u}^d$  – зольність шихти в перерахуванні на суху масу, %;

$Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, SiO_2, Al_2O_3$  – масові частки відповідних оксидів у золі шихти, визначені за ГОСТ 10538, %.

Післяреакційна міцність коксу пов'язана з його реакційною здатністю наступною залежністю, %:

$$CSR = 94,23 - 1,275 \cdot CRI. \quad (5.4)$$

У результаті роботи, проведеної ВУХІНом разом з ВАТ НТМК, для показників якості коксу CRI і CSR були встановлені наступні залежності з якістю шихт [12]:

$$CSR = 112,1479 \cdot R_{0,n} - 7,7269 \cdot \sigma_R - 64,4605, \quad (5.5)$$

$$CRI = -79,1777 R_{0,n} + 118,2776, \quad (5.6)$$

де  $R_{0,n}$  – середній довільний показник відбиття вітриніта шихти, %;

$\sigma_R$  – ступінь неоднорідності шихти по стадії метаморфізму, %.

Індійська фірма «Sail», використовуючи в шихті вугілля різної зольності, установила залежність післяреакційної міцності коксу від середнього довільного показника відбиття вітриніта  $R_{0,n}$  і зольності  $A_{ш}^d$  [12]:

$$CSR = 111,4 \cdot R_{0,n} - 1,65 \cdot A_{ш}^d - 52,0. \quad (5.7)$$

В [12] відзначається, що при близьких середніх значеннях показників відбиття вітриніта шихт кокси з них можуть відрізнятися по реакційній здатності й післяреакційної міцності у зв'язку з різним розподілом вітриноїдних типів. При цьому вважається доцільним урахувати характер розподілу вітриноїдних типів у шихті, тобто використовувати рефлектограму шихти. Для цього був запропонований показник, названий коефіцієнтом балансу складу коксівних і спікливих компонентів у шихті:

$$K_{K/C} = \frac{Vt_{R_{0,n}=1,20 \pm 1,65}}{Vt_{R_{0,n}=0,95 \pm 1,19}}, \quad (5.8)$$

де  $Vt_{R_{0,n}=1,20 \pm 1,65}$  – вміст вітрени у шихті з показником відбиття 1,20-1,60 %, %;

$Vt_{R_{0,n}=0,95 \pm 1,19}$  - вміст вітрени у шихті з показником відбиття 0,95-1,19 %, %.

За результатами 60 коксувань промислових шихт отримана залежність показників CRI і CSR коксу від цього показника:

$$CSR = 14,1570 \cdot K_{K/C} + 40,1344, \quad (5.9)$$

$$CRI = -10,3386 \cdot K_{K/C} + 43,5959 . \quad (5.10)$$

Для встановлення взаємозв'язку показників CRI і CSR цими ж авторами були оброблені результати 102 коксувань виробничих шихт. Отримане наступне рівняння їх взаємозв'язку:

$$CSR = 96,6677 - 1,2703 \cdot CRI . \quad (5.11)$$

В [22] приводиться ряд залежностей для визначення показників CRI і CSR, що є результатом статистичної обробки великої кількості експериментів. У цих залежностях ураховується вплив різних факторів на величини CRI і CSR. Найбільш точні залежності наступні:

$$CRI = 83,587 \cdot I_0 + 1,081 \cdot V_{uu}^{daf} + 0,246 \cdot S_{uu}^d - 16,155 , \quad (5.12)$$

$$CSR = -88,391 \cdot I_0 - 1,352 \cdot V_{uu}^{daf} - 0,731 \cdot S_{uu}^d + 103,106 , \quad (5.13)$$

$$CRI = 88,751 \cdot I_0 - 29,869 \cdot R_{0n} - 0,122 \cdot S_{uu}^d + 46,433 , \quad (5.14)$$

$$CSR = -94,542 \cdot I_0 + 37,009 \cdot R_{0n} - 0,341 \cdot S_{uu}^d + 25,168 . \quad (5.15)$$

де  $I_0$  – індекс основності

$$I_0 = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3} . \quad (5.16)$$

Як показує літературний огляд, в залежностях, що приводяться різними авторами, відсутня чисельна кореляційна оцінка впливу способу гасіння, стану

підного фонду, ситового складу шихти. Це деякою мірою знижує цінність цих залежностей.

Очікуваний вплив способу гасіння можна оцінити по даним, що приводяться в літературі [18, 19].

Залежність показників CRI і CSR від стану підного фонду визначити надзвичайно важко. У літературі лише є твердження, що зі збільшенням строку служби батареї якість одержуваного на ній коксу падає. Однак за умови якісної вугільної сировинної бази, ефективного ремонту й обслуговування на європейських заводах одержували високоякісний кокс.

Найбільша кількість факторів, що впливають, ураховується в рівняннях (5.1), (5.2), (5.12), (5.12-5.15). Разом з тим, хоча ці залежності й отримані переважно для українського вугілля, але вони враховують загальні для всіх марок вугілля фактори, що визначають величини CRI і CSR.

В роботі використовувались можливості Excel при виконанні громіздких розрахунків по емпіричним рівнянням (рис. 5.1).

Розрахунок по емпіричним рівнянням									
				Вміст сірки	Вихід летких	Індекс основності	$I_o$		
				1	29,8	3,2	0,24		
			Рівн. 1 CRI	37,77		Рівн. 4 CRI	38,96		
			Рівн. 2 CRI	38,7		Рівн. 5 CRI	35,99		
			Рівн. 3.1 CSR	46,07		Рівн. 6 CSR	41,12		
			Рівн. 3.2 CSR	44,88		Рівн. 7 CSR	42,53		

Рисунок 5. 1 – Обчислення по емпіричним рівнянням

Також проводилась первинна статистична обробка даних (рис. 5.2).

Статистичний аналіз результатів першого дослідно-промислового коксування

	CRI	Среднее	Дисперсия	CSR	Среднее	Дисперсия
10	41,35	41,36	3,261	41,41	40,9	11,66
11	41,38			42,64		
12	43,8	Стандартное отклонение		35,47		
13	38,91	1,806		44,06	Стандартное отклонение	
14	41,35			41,41	3,415	
15	41,38			42,64		
16	43,8			35,47		
17	38,91			44,06		
18	41,35			41,41		
19	41,38			42,64		
20	43,8			35,47		
21	38,91			44,06		

Рисунок 5. 2 – Приклад первинної обробки даних

Перше дослідно-промислове коксування

	Факт	CSR	Розр	CSR	Відх	CSR
	CRI	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR
10	41,35	41,41	38,7	44,88	-6,4	8,4
11	41,38	42,64	38,7	44,88	-6,5	5,3
12	43,8	35,47	38,7	44,88	-11,6	26,5
13	38,91	44,06	38,96	44,55	0	1,1
14	41,35	41,41	36,22	41,12	-12,4	-0,7
15	41,38	42,64	36,22	41,12	-12,45	3,5
16	43,8	35,47	36,22	41,12	-17,3	15,93
17	38,91	44,06	35,99	41,42	-6,45	5,99
18	41,35	41,41	35,07	42,53	-15,18	2,7
19	41,38	42,64	35,07	42,53	-15,25	-0,25
20	43,8	35,47	35,07	42,53	-19,93	19,9
21	38,91	44,06	34,78	42,92	-10,61	2,58

Рисунок 5. 3 – Приклад розрахунку відхилень фактичних даних від розрахункових

Розраховані по цих формулах значення індексів CRI і CSR для першого дослідно-промислового коксування представлені в табл. 5.1.

Як видно з даних табл. 5.1, розрахунки по формулах (5.1), (5.2), (5.3) дає значення CRI і CSR досить близькі до фактичних. Відмінності у бік заниження CRI і завищення CSR можна пояснити зношеністю батарей, на яких проводилися дослідні коксування. Термін служби 5, 6, 9 батарей перевищив 20 років. Для старих батарей, як правило, спостерігається погіршення якості одержуваного на них коксу. Тому розрахункові значення краще фактичних.

Таблиця 5.1 – Оцінка точності прогнозування величин CRI і CSR для шихти першого дослідно-промислового коксування

№ формули	Батарея, спосіб гасіння	Фактичні значення		Розрахункові значення		Відхилення від фактичного значення, % (відн.)	
		CRI	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR
5.1, 5.2, 5.12	№ 5-6, змішане гасіння	41,35	41,41	38,70	44,88	-6,4	+8,4
	№ 5-6, мокре гасіння	41,38	42,64	38,70	44,88	-6,5	+5,3
	№ 5-6, сухе гасіння	43,80	35,47	38,70	44,88	-11,6	+26,5
	№ 9, сухе гасіння	38,91	44,06	38,96	44,55	0,0	+1,1
5.12, 5.13	№ 5-6, змішане гасіння	41,35	41,41	36,22	41,12	-12,40	-0,7
	№ 5-6, мокре гасіння	41,38	42,64	36,22	41,12	-12,45	+3,5
	№ 5-6, сухе гасіння	43,80	35,47	36,22	41,12	-17,30	+15,93
	№ 9, сухе гасіння	38,91	44,06	35,99	41,42	-6,45	+5,99
5.14, 5.15	№ 5-6, змішане гасіння	41,35	41,41	35,07	42,53	-15,18	+2,70
	№ 5-6, мокре гасіння	41,38	42,64	35,07	42,53	-15,25	-0,25
	№ 5-6, сухе гасіння	43,80	35,47	35,07	42,53	-19,93	+19,90
	№ 9, сухе гасіння	38,91	44,06	34,78	42,92	-10,61	+2,58

Кращі показники якості коксу батареї № 9, а, отже, і більша близькість розрахункових значень по формулах (5.1), (5.2), (5.3) до експериментальних,

пояснюються впливом сухого гасіння коксу. У повній відповідності з літературними даними, для коксу сухого гасіння батареї № 9 у порівнянні з коксом мокрого гасіння 5, 6 батарей зменшення індексу CRI склало 2,47 % (абс.), збільшення індексу CSR – 2,65 % (абс.). Значне погіршення якості коксу сухого гасіння 5, 6 батарей важко пояснити. Причинами цього може бути коливання індексу основності шихти, викликані коливаннями індексу основності вугілля Картер Роуг (див. розділ 3).

Інші формули дають значно менш точні результати, ніж формули (5.1), (5.2), (5.3).

Таким чином, за результатами першого дослідно-промислового коксування для прогнозування значень CRI і CSR із шихти з переважним вмістом вугілля Картер Роуг і Покахонтас можна рекомендувати залежності (5.1), (5.2), (5.3). Значення, розраховані по них, відрізняються від фактичних до 10 % (відн.) у кращу сторону.

Розраховані по формулах (5.1), (5.2), (5.3), (5.12-5.15) значення CRI і CSR для другого дослідно-промислового коксування представлені в табл. 5.2.

Як видно з табл. 5.2, для мокрого гасіння рівняння (5.1), (5.2), (5.12-5.15) дають задовільний прогноз реакційної здатності й післяреакційної міцності з урахуванням деякого зниження CRI через зношеність пічного фонду.

Прогноз значення CSR по рівнянню (5.12) дає значну відмінність розрахункових значень від фактичних. Ця формула не може бути використана для практичних цілей при коксуванні шихт із високим вмістом вугілля «Велмор».

Значні відмінності значень CRI і CSR, одержуваних по існуючих емпіричних залежностях, від фактичних при сухім гасінні пояснюється позитивним впливом цього процесу на якість коксу. Не ясним залишається надзвичайно сильне підвищення якості коксу сухого гасіння в порівнянні з мокрим. За літературними даними максимальне зменшення CRI за рахунок сухого гасіння становить 4-5 % (абс.). У випадку другого дослідно-промислового коксування



зменшення склало  $\sim 10\%$  (абс.). З'ясування причин цього явища вимагає додаткових теоретичних і експериментальних досліджень.

Таблиця 5.2 – Оцінка точності прогнозування величин CRI і CSR для шихт другого дослідно-промислового коксування

Етап	№ формули	Батарея, спосіб гасіння	Фактичні значення		Розрахункові значення		Відхилення від фактичного значення, % (відн.)	
			CRI	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR
I	5.1, 5.2, 5.12	№ 5-6, мокре гасіння	42,55	35,33	37,91	45,90	-10,90	29,92
		№ 5-6, сухе гасіння	31,41	55,06	37,91	45,90	20,69	-16,64
	5.12, 5.13	№ 5-6, мокре гасіння	42,55	35,33	41,89	35,10	-1,55	-0,65
		№ 5-6, сухе гасіння	31,41	55,06	41,89	35,10	33,37	-36,25
	5.14, 5.15	№ 5-6, мокре гасіння	42,55	35,33	39,49	38,08	-7,19	7,78
		№ 5-6, сухе гасіння	31,41	55,06	39,49	38,08	25,72	-30,84
II	5.1, 5.2, 5.12	№ 9, сухе гасіння	31,60	52,73	37,5	46,40	18,67	-12,00
	5.12, 5.13	№ 9, сухе гасіння	31,60	52,73	42,28	34,78	33,80	-34,04
	5.14, 5.15	№ 9, сухе гасіння	31,60	52,73	40,82	36,59	29,18	-30,61
III	5.1, 5.2, 5.12	№ 5-6, мокре гасіння	42,90	37,37	37,90	45,90	-11,66	22,83
		№ 9, сухе гасіння	29,60	57,50	37,40	46,54	26,35	-19,06
	5.12, 5.13	№ 5-6, мокре гасіння	42,90	37,37	41,05	35,98	-4,31	-3,72
		№ 9, сухе гасіння	29,60	57,50	40,30	36,93	36,15	-35,77
	5.14, 5.15	№ 5-6, мокре гасіння	42,90	37,37	40,02	37,25	-6,71	-0,32
		№ 9, сухе гасіння	29,60	57,50	39,04	38,48	31,89	-33,08

При аналізі результатів коксувань слід мати на увазі, що в кожній з марок американського вугілля, що використовувалось, спостерігається надзвичайно великий розкид значень індексу основності золи. Наприклад, для

вугілля Картер Роуг цей показник коливається від 3,11 до 8,28, для вугілля «Веллмор» – від 2,26 до 4,93.

Таким чином, для прогнозування значень CRI при коксуванні шихт із високим вмістом вугілля марок Картер Роуг, «Веллмор», «Покахонтас» і мокрому гасінні досить високу точність (до 12 % відн. у бік зменшення) дають залежності (3.1) і (3.2). при використанні сухого гасіння значення, отримані по цих залежностях слід збільшувати в середньому на 10 % (відн.).

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Характеристика виробництва коксового цеху, його шкідливі й небезпечні фактори

Коксохімічне виробництво є складовою частиною найважливішої галузі народного господарства - чорної металургії. У завдання коксохімічного виробництва входить забезпечення коксом чорну металургію, і ряд інших галузей промисловості, вона є джерелом різноманітних видів хімічної сировини, сировини для вуглеграфітових матеріалів і технічного вуглецю. Кокс є основним паливом у процесі одержання заліза з руд, зокрема, у найважливішому етапі цього процесу - виробництві чавуну в доменних печах.

Українська вугільна сировинна база не здатна забезпечити отримання необхідної кількості коксу з високим показником гарячої міцності і низькою реакційною здатністю. Метою даної роботи було обґрунтувати оптимальний склад шихти з високим вмістом американського вугілля для отримання якісного коксу. Це було зроблено на підставі двох дослідно-промислових коксувань, що дозволило отримувати кокс з показниками CRI ~ 30% і CSR ~ 55%.

Багато хімічних продуктів, які виділяються у коксовому цеху, газ, що йде на обігрів коксових печей, а також деякі продукти, які застосовуються як

сировину, є токсичними. При вдиханні пар чи пилу цих продуктів може виникнути отруєння.

В умовах коксового цеху найбільшу небезпеку у відношенні отруєння представляють: окис вуглецю, аміак, бензол, толуол, ксилол, сірковуглець, фенол, сірководень, сірчистий газ, піридини, нафталін, антрацен, пековий газ і пековий пил, ціаністий водень.

При гострій інтоксикації оксиду вуглецю відбувається зниження логічної пам'яті і здатності до розпізнаванню, проте ці функції повертаються до норми після припинення дії.

При тривалому вдиханні бензол діє як отрута, яка викликає запаморочення, блювоту, втрату свідомості. Його дія засноване на хорошому розчиненні в жирах і ліпідах. При хронічній дії бензол викликає ураження відсталого мозку, печінці, нирок, може привести до виникнення лейкемії.

Продукти переробки кам'яновугільної смоли - фенол, нафталін володіють високою летючістю. Пара їх дратують слизисту оболонку ока і дихальних шляхів. При контакті з шкірою ці речовини викликають запальні реакції, а проникаючи в організм викликають загальну токсичну дію на ряд органів і систем. Фенол надає в основному місцеву дію і у меншій мірі впливає на функції центральних відділів нюхового аналізатора. Навпаки, нафталін в першу чергу приводить до порушення відповідних нервових процесів в кірковому відділі аналізатора у бік первинного гальмування при відносно слабкій місцевій дії.

Сірководень надає як місцеву (на слизисті оболонки), так і загально токсичну дію. При концентраціях близько 1,2 мг/л і вище спостерігається блискавична форма отруєння. Смерть настає унаслідок кисневого голодування, яке викликається блокуванням тканинного дихання у зв'язку з пригнобленням клітинних окислювально-відновних процесів. При концентраціях сірководню в межах від 0,02 до 0,2 мг/л і вище наголошуються симптоми отруєння з боку нервової системи, органів дихання і травлення. З'являється головний біль, запаморочення, безсоння, загальна слабкість,

зниження пам'яті, чхання, кашель, утруднення дихання і в окремих випадках гострий набряк легенів із смертельним результатом. Спостерігаються гіперсалівація, нудота, блювота, пронос. Характерний поразка слизової оболонки очей — кон'юнктивіт, світлобоязнь. Суміш сірководню з повітрям, що містять від 4 до 45 об'ємних відсотків цього газу, вибухонебезпечні.

Синильна кислота володіє своєрідним дурманним запахом, що нагадує запах гіркої мигдалю. Синильна кислота - сильна отрута нейротоксичної дії, блокує клітинну цитохром оксидазу, внаслідок чого виникає виражена тканинна гіпоксія. Отруєння зможе наступити при вдиханні пари синильної кислоти, при попаданні її на шкіру або ж в шлунок. При вдиханні невеликих концентрацій синильної кислоти спостерігається дертя в горлі, гіркий смак в роті, головний біль, нудота, блювота, біль за грудиною. При наростанні інтоксикації зменшується пульс, посилюється задишка, розвиваються судоми, настає втрата свідомості. Шкіра при цьому яскраво-рожева, слизові оболонки синюшні.

Нафталін викликає заціпеність, сопорозний стан, диспепсичні розлади, біль в животі, ураження нирок по типу нефрозу виділення (білок в сечі, гематурія, циліндрурія), можливо поразка сітківки очей. Отруєння нафталіном можливі при вдиханні пари або пороши, при проникненні через шкіру, попаданні в шлунок.

При отруєнні азотом виникають задишка, блювота, запаморочення, стан сп'яніння, втрата свідомості і глибока кома. Смерть може наступити в перші години після отруєння.

Характерними ознаками аміачного токсикозу є звичайне підвищення збудливості, розвиток судом, пригніблення дихального центру. Невеликі дози аміаку приводять до підвищення умовно-рефлекторної збудливості. Великі дози аміаку, навпаки, викликають зникнення умовних рефлексів.

При отруєнні сірковуглецем виникає головний біль, запаморочення, відчуття сп'яніння, нудота, зниження шкірної чутливості. При отруєнні середнього ступеня тяжкості - сонливість, порушення координації рухів, яким

передуює психічне і рухове збудження, можливі судоми. У важких випадках - втрата свідомості і смерть від зупинки дихання. При контакті з шкірою - гіперемія, міхури.

Діоксид азоту приводить до погіршення очищення легенів, зниженню рівня утворення антитіл, утворення інтерферону і бактерицидної активності в тканині легенів.

Діоксид сірки викликає підвищення частоти пульсу, зниження дихального обміну і збільшення частоти дихання.

Окрім цього робітники на підприємстві можуть піддаватися впливу інших шкідливих і небезпечних факторів. Робітники, які працюють на верху коксової батареї, на видачі коксу, в тунелі коксової батареї, на коксортуванні та на коксових трактах також піддаються впливу вібрації, шуму, інфрачервоного випромінювання, високої температури.

Коксовий газ, який застосовується для обігріву коксових печей є небезпечним, тому що він може викликати отруєння або вибух. Кордон вибуховості знаходиться в межах, від 6 до 30% .

Вугільний пил може викликати пневмоканіоз (стомлюваність, кашель, біль у купах), захворювання шлунково-кишкового тракту, шкіри. Вугільний пил у великій кількості може бути вибухонебезпечним. Одним з найбільш небезпечних газів є оксид вуглецю. У результаті взаємодії з гемоглобіном крові, він утворює небезпеку отруєння та викликає запаморочення, в'ялість, апатію.

## 6.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

Безпечні умови праці забезпечуються системою технічних й організаційних заходів.

Під технічними заходами розуміють насамперед автоматизацію виробничих процесів, дистанційне керування машинами й апаратами, впровадження нової техніки й нових більше сучасних процесів.

Під організаційними заходами передбачаються насамперед наявність «Правил безпеки в коксохімічній промисловості».

На підставі цих Правил для кожного цеху, ділянки й робочого місця складається інструкція з техніки безпеки. Важливою частиною інструкції є інструкція з ліквідації аварій.

У ній зазначені можливі аварії й місця їхнього виникнення; дії кожного інженерно-технічного працівника й робітника, шляхи порятунку людей, захоплених аварією.

Заходу, які робляться у коксовому цеху, щодо поліпшення умов праці це автоматичний контроль і автоматизоване управління технологічними процесами і окремими операціями, огорожа рухомих і таких, що обертаються механізмів устаткування, теплоізоляція гарячих поверхонь, світлова і звукова сигналізація роботи устаткування і коксових машин, механізація і автоматизація трудомістких операцій по обслуговуванню коксових печей і основного технологічного устаткування, встановлення кондиціонерів у виробничих приміщеннях, кабінах машиністів, встановлення пристроїв аварійно-витяжної вентиляції.

Щоб максимально зменшити ступінь дії небезпечних та шкідливих факторів, обслуговуючий персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту: спецодяг, спецвзуття, захисні окуляри, респіратори.

Валкові вібраційні гуркоти і транспортне устаткування, що виділяє коксовий пил, устатковуються укриттям, що герметизується, з аспірацією, що виключає потрапляння пилу в приміщення. Повинно бути передбачено блокування аспіраційних установок з устаткуванням. Запорошене повітря, що відсмоктується з-під укриттів аспіраційними установками, перед викидом в атмосферу очищається відповідно до проектних норм.

Рішення по конструкції кладки і армуванню печей забезпечують газощільність кладки, що виключає можливість перетікання сирого коксового газу з камери в опалювальні простінки і скидання додаткових газових викидів в атмосферу з продуктами горіння.

Регулювання процесу спалювання газу у вертикалах обігрівальних простінків з рециркуляцією продуктів горіння з низхідного потоку на висхідний знижує вміст оксидів азоту в продуктах горіння. Обігрівши коксових печей передбачений тільки коксовим газом.

#### 6.2.1 Розрахунок тепловідбіючого екранування кладки коксової батареї

Виходячи з досвіду експлуатації коксових печей системи ПВР із боковим підведенням тепла температура поверхні джерела (кладки)  $t_1=52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура навколишнього середовища  $t_2=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кладка печі з динасового вогнетриву, відповідно ступінь чорноти  $\varepsilon_1=0,8$ . Температура поверхні екрану не повинна перевищувати  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ступінь екранування розраховуємо за формулою:

$$\mu = \frac{T_1}{T_E}, \quad (6.1)$$

де  $T_1$  - температура поверхні джерела, К;

$T_E$  - температура поверхні екрану, К.

$$\mu = (273 + 52)/(273 + 30) = 1,073$$

Обираємо для виготовлення екрану алюміній, ступінь чорноти  $\varepsilon_E=0,1$ .

Находимо приведену ступінь чорноти за формулою:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1, \quad (6.2)$$

де  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  - ступінь чорноти, відповідно, гарячої кладки та листа екрану.

$$\varepsilon_{1,E} = \frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,1} - 1 = 0,19,$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,8} - 1 = 0,67,$$

де ступінь чорноти оточуючих огорож прийнята  $\varepsilon_2=0,8$ .

Ступінь зниження потоку розраховуємо за формулою:

$$m = f(\mu) = \frac{\mu^4 + \left(\frac{T_2}{T_E}\right)^4}{1 - \left(\frac{T_2}{T_E}\right)^4}, \quad (6.3)$$

де  $T_2$  - температура оточуючого середовища.

$$m = \frac{1,073^4 + \left(\frac{296}{303}\right)^4}{1 - \left(\frac{296}{303}\right)^4} = 4,7.$$

Відповідно потік знизився у 4,7 рази.

Кількість екранів, що знижують потік у  $n$  разів розраховуємо за формулою:

$$n = m \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} - 1, \quad (9.4)$$

$$n = 4,7 \cdot \frac{0,19}{0,67} - 1 \approx 1.$$

Ефективність екранування розраховується за формулою:



$$\eta = (1 + n \cdot \frac{\varepsilon_0 \cdot (2 - \varepsilon)}{\varepsilon \cdot (2 - \varepsilon_0)})^{-1}, \quad (6.5)$$

де  $n$  - кількість екранів;

$\varepsilon$ - ступінь чорноти екранів;

$\varepsilon_0$  - ступінь чорноти поверхні кладки.

$$\eta = (1 + 1 \cdot \frac{0,1 \cdot (2 - 0,8)}{0,8 \cdot (2 - 0,1)})^{-1} = 0,52.$$

Таким чином, оптимальним варіантом тепло відбивального екрану для коксової печі є алюмінієвий екран. Для зниження температури поверхні кладки печі з 52°C до 30°C. Згідно проведеного розрахунку необхідне один такий екран, ефективність екранування в даному випадку становить 52%.

### 6.2.2 Розрахунок кондиціонера

Кондиціонуванням називається процес створення й автоматичної підтримки в приміщенні постійних або параметрів, що змінюються по заданій програмі, повітря незалежно від зміни параметрів зовнішнього повітря й зміни кількостей тепла й вологи, що виділяються в приміщенні.

Для кондиціонування повітря застосовують спеціальні агрегати – кондиціонери. Розроблено набір типових секцій для кондиціонерів, з яких можна комплектувати залежно від виробничих умов агрегати різного призначення й продуктивності. Типові секції забезпечують прийом повітря, його фільтрацію, холодо- і теплопостачання, змішання, зволоження й інші процеси. При відсутності необхідності деякі секції кондиціонера можуть бути виключені. Може змінюватися й порядок монтажу секцій, можливо також сполучення типових секцій з нетиповими елементами вентиляції. Система забезпечується датчиками й виконавчими механізмами для автоматичного регулювання.

В умовах роботи в коксовому цеху в деяких місцях виникає необхідність у захисті від тепло надлишків. Розрахуємо кондиціонер для кабіни дверей'ємної машини.

При захисті від тепло надлишків спочатку розраховуємо відношення різниці температур:

$$P_t = \frac{t_{pz} - t_{норм}}{t_{pz} - t_0}, \quad (6.6)$$

де  $t_{pz}$  – температура повітря в робочий зоні, °С;

$t_{норм}$  – нормальна температура повітря на робочому місці, °С;

$t_0$  - температура повітря на виході з душируючого патрубка, °С.

$$t_0 = t_{охл} + \Delta t, \quad (6.7)$$

$$t_0 = 20 + 1,5 = 21,5, \quad (6.8)$$

$$P_t = \frac{60 - 23}{60 - 21,5} = 0,96.$$

Вибираємо до установки душируючі патрубки з верхнім підведенням повітря типу ПД 4 з характеристиками:

- а) кут нахилу лопаток 45°;
- б) температурний коефіцієнт  $n=2,8$ ;
- в) коефіцієнт згасання швидкості повітряного потоку  $m=4$ ;
- г) коефіцієнт місцевого опору  $q=2,8$ .

При  $P_t < 1$  приймаємо адіабатне охолодження повітря. Приймаємо за умовами кабіни висоту душируючого патрубка над рівнем робочого місця  $h=1,6$ м.

Відстань від душируючого патрубку до робочого місця при  $\alpha=45^\circ$ :

$$x = \frac{h_p}{\sin \alpha}, \quad (6.9)$$

$$x = \frac{0,4}{\sin 45^\circ} = 0,57 \text{ м.}$$

Визначимо кількість повітря на душируючий патрубок при коефіцієнті запасу витрати повітря  $K_3=1,1$ :

$$L_p = L_0 - K_3, \quad (6.10)$$

$$L_p = 0,2 \cdot 1,1 = 0,22 \text{ м}^3.$$

Приймаємо швидкість рушення повітря по трубопроводу  $V=9$  м/с. Знаючи  $V$  визначаємо попереднє значення площі перетину труби, що підводять:

$$F = \frac{L_p}{V}, \quad (6.11)$$

$$F = \frac{0,22}{9} = 0,024 \text{ м}^2.$$

Тоді діаметр трубопроводу що підводить:

$$D_{\text{под}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (6.12)$$

$$D_{\text{под}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,024}{3,14}} = 0,17 \text{ м.}$$

Площа перетину труби, що підводить (уточнена):

$$F = \frac{\pi \cdot D_{\text{под}}^2}{4}, \quad (6.13)$$

$$F = \frac{\pi \cdot 0,17^2}{4} = 0,023 \text{ м}^2.$$

Пропоную установку автономного кондиціонера, що виробляє охолоджене повітря (до необхідної температури) і очищення від пилу.

Кондиціонер повинен розвивати тиск, необхідний для подолання втрат натиску у повітропроводах і забезпечення необхідної продуктивності по повітрю.

Сумарні втрати у повітропроводах:

$$P_{\text{випр}} = R \cdot l + z, \quad (6.14)$$

де  $R$  – втрати тиску на тертя на 1 м повітропроводу;

$L$  – довжина повітропроводів, м;

$Z$  – втрати тиску на місцеві опори.

При  $D_{\text{пот}}=150$  мм і  $V=10$  м<sup>3</sup>, знаходимо  $R=0,96$  Па.

Втрати тиску на місцеві опори:

$$z = k \cdot m \cdot l \cdot \left( \frac{v^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g} \right). \quad (6.15)$$

Коефіцієнт місцевих опорів:

а) для закругленого коліна під кутом 90°,  $K_{\text{м.с.90}}=11,7$  Па;

б) для вихідного патрубку  $K_{\text{вих.}}=27,5$  Па.

Втрати тиску складають:

$$P_{\text{под}} = R \cdot (l_1 + l_2) + \left( \frac{v^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g} \right) \cdot (K_{\text{м.о.}}^{90} + K_{\text{вих}}), \quad (6.16)$$

$$P_{\text{под}} = 0,098 \cdot (0,9 + 0,4) + 6,27 \cdot (1,19 + 2,8) = 246,7 \text{ Па.}$$

Вибираємо автономний кондиціонер типу ККУ – 5 з характеристиками:

- а) продуктивність по повітрю 800 м<sup>3</sup>/год;
- б) тиск, що розвивається за кондиціонером 250 Па;
- в) міра очищення повітря від пилу 94%;
- г) потужність двигуна 5кВт;
- д) напруги живлення 380 В.

### 6.3 Пожежна безпека

Пожежею є неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, яке призводить до матеріальної шкоди . Пожежна безпека це стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей .Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону "Про пожежну безпеку" .Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

підприємстві відповідають його керівники , начальники цехів, майстри та інші керівники . На підприємствах існує два види пожежної охорони: професійна і

воєнізована . Воєнізована охорона створюється на об'єктах з підвищеною небезпекою.

Крім того на підприємствах для посилення пожежної охорони організовуються добровільні пожежні дружини і команди, добровільні пожежні товариства і пожежно-технічні комісії з числа робітників та службовців. При Міністерстві внутрішніх справ існує управління пожежної охорони (УПО) і його органи на місцях. До складу УПО входить Державний пожежний нагляд, який здійснює:

- контроль за станом пожежної безпеки;
- розробляє і погоджує протипожежні норми і правила та контролює їх виконання в проектах і безпосередньо на промислових об'єктах;
- проводить розслідування і облік пожеж;
- організовує протипожежну профілактику. Протипожежною профілактикою є комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на здійснення безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Відповідальним керівником робіт по ліквідації пожеж і аварій на підприємстві є головний інженер. Начальник структурного підрозділу, в якому виникла пожежа, є відповідальним виконавцем робіт по її ліквідації.

Пожежу, яка виникла можна ліквідувати, якщо забрати один з трьох факторів необхідних для горіння: горючу речовину, окислювач, джерело тепла. Існують два способи гасіння пожеж: фізичний та хімічний. До фізичних способів припинення горіння відносяться: охолодження зони горіння або горючих речовин , розбавлення реагуючих речовин в зоні горіння негорючими речовинами, ізоляція реагуючих речовин від зони горіння. Хімічний спосіб припинення пожежі - це хімічне гальмування реакції горіння. До основних засобів гасіння пожежі (з допомогою яких здійснюється той чи інший спосіб припинення горіння) відносяться: вода (у вигляді струменя або у розпиленому стані) , інертні гази (вуглекислий газ, азот) , піни хімічні та повітряномеханічні , порошкові суміші , покривала з брезенту та азбесту. Вибір тих чи інших

способів та засобів гасіння пожеж визначається в кожному конкретному випадку залежно від стадії розвитку пожежі, масштабів загорянь, особливостей горіння речовин та матеріалів.

Вода - найбільш дешева та поширена вогнегасна речовина. Це пояснюється: великою теплоємністю, високою термічною стійкістю (розкладається при температурі вище 1700 °C), значним збільшенням об'єму при пароутворенні (1 л води при випаровуванні утворює більше 1700 л пари), охолоджує зону горіння. Промислові підприємства мають зовнішнє і внутрішнє протипожежне водопостачання. Необхідний тиск води створюється стаціонарними пожежними помпами, котрі забезпечують подання компактних струменів на висоту не менше 10 м або рухомими пожежними помпами і мотопомпами, що забирають воду із гідрантів. Внутрішній протипожежний водогін обладнується пожежними кранами, які встановлюються на висоті 1,35 м від підлоги всередині приміщень біля виходів, у коридорах, на сходах. Кожний пожежний кран споряджається прогумованим рукавом та пожежним стволом.

Інертні гази (вуглекислота, азот, аргон, інш.) особливо доцільно застосовувати тоді, коли застосування води може викликати вибух або поширення горіння, або ж пошкодження апаратури, обладнання, цінностей. Вуглекислота виконує дві функції: охолоджуючу та ізолюючу, це газ без кольору і запаху. Він важче від повітря в 1,5 рази; при 0°C і  $P=36$  атм легко переходить у рідкий стан, тоді його називають вуглекислою. З 1 л рідкої вуглекислоти утворюється 506 л газу. Зберігаються в сталевих балонах. Подача кислоти проводиться через раструби - диффузори, внаслідок чого відбувається переохолодження кислоти, що виходить і утворення вуглекислого снігу.

Азот не має ні кольору ні запаху. Порівняно з  $\text{CO}_2$  в рідкий стан переходить при дуже низькій температурі (-195,8 °C) азот як засіб гасіння використовується по методу розбавлення спалимої речовини. Вуглекислоту і азот застосовують в порівняно невеликих по об'єму приміщеннях, головним

чином при гасінні речовин, що горять полум'ям (рідини, газу). Погано гасять речовини, здатні тліти.

Піни для гасіння пожеж являють собою суміш газу з рідиною. Пухирці газу можуть утворюватися всередині рідини в результаті хімічних процесів або механічного змішування газу (повітря) з рідиною. Гасіння піною закладається в тому, що пінне покриття є якби екраном, який запобігає дії тепла зони горіння на поверхню речовини. Піна запобігає виходу рідини в зону горіння, виявляючи ізолюючу дію. Піна виявляє і деяку охолоджуючу дію.

До первинних засоби гасіння пожежі відносяться: внутрішні пожежні крани, відра, кошми, лопати, пісок, вогнегасники. Пінний вогнегасник ОХП-10 складається із зварного сталевго корпусу, який містить лужний розчин соди з лакричним екстрактом. Цей вогнегасник можна застосовувати для гасіння твердих речовин та легкозаймистих рідин з відкритою поверхнею. Піна електропровідна, тому цим вогнегасником не можна гасити електрообладнання, що знаходиться під напругою.

Вогнегасники вуглекислотні ОУ-2, ОУ-5 складаються із сталевго балону з запорним вентилям. Балон заповнений зрідженою вуглекислотою під тиском 7 Мпа. Ці вогнегасники застосовують для гасіння невеликих пожеж, електрообладнання, що знаходиться під напругою. Не можна гасити спирт і ацетон, котрі розчиняють вуглекислоту, а також фотоплівку, целулоїд, котрі горять без доступу повітря.

Порошкові вогнегасники ОП-1, ОП-5, ОП-ІО та інші. - це поліетиленові балончики, які містять фосфорноамонійні солі, карбонат натрію. Застосовуються для гасіння магнію та його сплавів, лужних металів алюмінію, металоорганічних сполук, а також тоді коли не можна гасити пожеж водою, піною або вуглекислим газом.



## ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи магістра було:

- розглянуто поняття реакційної здатності коксу та методи її оцінки.

Серед багатьох методів найбільш відповідним вимогам прогнозування газифікації коксу в доменній печі є спосіб визначення реакційної здатності коксу, запропонований компанією «Nippon Steel Corp.». Реакційна здатність за цим методом оцінюється показником CRI;

- проаналізовано існуючі методики оцінки міцності і реакційної здатності коксу. Випробування міцності коксу в холодному стані з отриманням показників M10, M25, M40, а також випробування на міцність матеріалу коксу не повністю відповідають вимогам прогнозування поведінки коксу в доменній печі. Для більш точної оцінки поведінки коксу в доменній печі необхідно використовувати методи визначення показників «гарячої» міцності коксу. Серед таких показників найбільше розповсюдження отримав індекс CSR, запропонований компанією «Nippon Steel Corp.»;

- встановлено, що на значення CRI і CSR, впливають властивості вугілля, способи підготовки вугілля до коксування, конструкція коксових печей, спосіб гасіння коксу, додаткова позапічна обробка коксу. Для традиційної технології коксування найбільший, навіть визначальний, вплив на якість коксу мають властивості вугілля;

- показано, що сировинна база українського вугілля може забезпечити виробництво лише ~3 млн. т коксу з рівнем  $CRI < 35\%$  і  $CSR > 50-55\%$ , тобто такого, що відповідає міжнародним вимогам до якості коксу. Вугільна сировинна база заводів України має дефіцитний характер, особливо по маркам Ж і К. Компенсувати їх дефіцит можливо лише імпортом;

- проведено два дослідно-промислових коксування шихт з великим вмістом вугілля із США, що добре спікається. На першому використовували вугілля копалень Картер Роуг і Покахонтас, на другому Веллмор і Покахонтас;

- на першому етапі дослідно-промислового коксування отримано кокс з середніми значеннями  $CRI=38,91\%$  і  $CSR=44,06\%$ . Особливістю американського вугілля Картер Роуг є дуже суттєві коливання хімічного складу його золи. Дані дослідження показали, що індекси основності вивчених проб відрізняються між собою й становлять величини рівні 3,11 і 8,28. Внаслідок цього відбувалось значне коливання індексів  $CRI$  і  $CSR$ ;

- на другому етапі дослідно-промислового коксування отримано кокс, якість якого відповідає міжнародним вимогам. Отримані дані свідчать про можливість одержання коксу з показниками реакційної здатності  $CRI \sim 30\%$  і післяреакційної міцності  $CSR \sim 55\%$ . Для цього необхідно використовувати шихту марочного складу ВЛК (Веллмор) – 55 %; НЛК (Покахонтас) – 20 %; ГЖО (ш. Воргашерская)-10 %; К (Юн'ягинський розріз) – 10 % ;ССОМ (Кедровський розріз) – 5 % за умови гасіння коксу сухим способом;

- визначено математичну модель для прогнозування значень  $CRI$  і  $CSR$  коксу, отриманого з шихти з великим вмістом американського вугілля;

- проведено аналіз небезпечних факторів косового цеху. Проведений розрахунок кондиціонера для кабіни дверей'ємної машини.

.