

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Мінкіна Олександра Олександрівна

на тему «Модифікація реакційної здатності коксу для
доменної плавки шляхом обробки його
неорганічними речовинами»

науковий керівник к.т.н., доцент



Шмельцер К.О.

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.25 № 16

Завідувач кафедри


к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр і назва)

Завідувач кафедри

Хімічних технологій та інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

доцент, к.т.н.

Шмельцер К.О.

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

2025 року

(підпис)

« 2 » червня

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мінкіна Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Модифікація реакційної здатності
коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н.,
доцент

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

затвердені наказом вищого навчального закладу № 239-ст від «04» квітня 2025 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

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

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





4.1 Аналітична частина: Якість металургійного коксу. Позапічна обробка коксу
шляхом сухого гасіння коксу. Підготовка коксу до доменної плавки, механічна
обробка та сортування на вузькі класи. Механічна обробка. Сортування коксу при
одночасній стабілізації і можливості поліпшення його фізико-механічних
властивостей до заданого значення.

4.2 Основна частина: Методи позапічної обробки коксу різними складами для
поліпшення показників холодної міцності M_{25} та стираності M_{10} коксу. Методи
позапічної обробки коксу для зниження реакційної здатності CRI та підвищення
гарячої міцності CSR. Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по
захисту навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

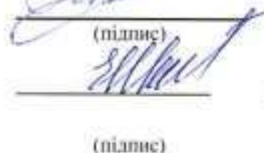
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.25	
2.	Основна частина	26.05.25	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Мінкін О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Шмельцер К.О.
(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Мінкін О.О. Модифікація реакційної здатності коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами – Рукопис.

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

Об'єкт розробки - технології позапічної обробки коксу різними складами для підвищення якості коксу в умовах зниження частки спікливої частини вугільної шихти.

Мета роботи - поліпшення якості коксу шляхом позапічної обробки його різними складами.

Метод дослідження - теоретичне дослідження якості коксу з використанням даних, наведених в літературі. За результатами виконаних досліджень були зроблені висновки. На основі цих висновків та проведених промислових випробувань запропоновано створити установку для зрошування коксу різними складами. Це дозволить використовувати кокс поліпшеної якості у доменному виробництві з урахуванням того, що шихта містить значну кількість поганоспікливого вугілля.

Ключові слова: реакційна здатність коксу, доменна плавка, вугілля, гаряча міцність, показник стираності, механічна міцність

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Якість металургійного коксу	10
1.2 Позапічна обробка коксу шляхом сухого гасіння коксу	14
1.3 Підготовка коксу до доменної плавки, механічна обробка та сортування на вузькі класи	17
1.3.1 Механічна обробка	18
1.3.2 Сортування коксу при одночасній стабілізації і можливості поліпшення його фізико-механічних властивостей до заданого значення	21
1.4 Актуальність позапічної обробки коксу	23
1.5 Висновки до аналітичної частини	25
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	27
2.1 Методи позапічної обробки коксу різними складами для поліпшення показників холодної міцності M_{25} та стираності M_{10} коксу	27
2.2 Методи позапічної обробки коксу для зниження реакційної здатності CRI та підвищення гарячої міцності CSR	39
2.2.1 Спосіб обробки коксу борною кислотою	39
2.2.2 Спосіб обробки коксу водним розчином тетраборату	40
2.2.3 Спосіб обробки кам'яновугільного коксу, що дає змогу регулювати його якість	52
2.3 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища	57
2.3.1 Небезпечні фактори в умовах вуглепідготовчого цеху	57
2.3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у вуглепідготовчого цеху	59
2.3.3 Пожежна безпека	60
2.4 Висновки по основній частині роботи	62

ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Підвищення ефективності роботи доменних печей у значній мірі визначається економною витратою сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. Показники роботи доменної печі визначаються її продуктивність й витратою коксу на виплавку чавуну.

Кокс є основним паливом у процесі одержання заліза з руд, зокрема, у найважливішому етапі цього процесу. У зв'язку з цим зниження питомої витрати коксу на виробництво чавуну, сировинних і енергетичних витрат на виробництво коксу - один із пріоритетних напрямків чорної металургії, а найважливішою умовою зниження витрат коксу варто вважати підвищення його якості. Кокс у доменній печі є основним джерелом тепла, відновником і розпушувачем шихтових матеріалів. Відповідно вимоги до якості доменного коксу наступні: хімічний склад, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості.

Хімічний склад коксу звичайно оцінюють по вмісту в ньому вологи, золи, сірки і летючих речовин. Властивості коксу, істотно залежать від вугільної сировини й опосередковано можуть бути охарактеризовані складом вугільної шихти. Так само вони залежать від спікливості, гранулометричного складу й вологості шихти.

Стан сировинної бази коксування коксохімічних підприємств України є визначальним для шляхів і темпів розвитку чорної металургії країни. Нажаль, в даний час спостерігається виснаження запасів коксівного вугілля марок К і Ж, та залучення до промислових шихт значно більшої кількості поганоспикливого вугілля. При коксуванні такої шихти, ми одержуємо кокс незадовільної якості для доменного виробництва. Для підвищення якості коксу існують різні методи післякамерної обробки коксу. До них відносять: сухе гасіння, сортування коксу на класи, механічну обробку, а також обробку коксу різними складами. Ці методи дозволяють покращити показники якості коксу. 8 Сухе гасіння, механічна обробка та сортування коксу вже існують в

експлуатації на різних коксохімічних підприємствах України. В даний період обробка коксу різними складами є новітньою технологією. Ця технологія ще не достатньо вивчена, тому не впроваджена на підприємствах металургійного комплексу і в даний час це питання є актуальним.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Якість металургійного коксу

Кокс у доменній печі є основним джерелом тепла, відновником і розпушувачем шихтових матеріалів. Відповідно вимоги до якості доменного коксу передбачають наступні складові:

- хімічний склад, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості.

Хімічний склад коксу звичайно оцінюють по вмісту в ньому вологи, золи, сірки і летючих речовин. Вміст фосфору, миш'яку та інших елементів, наявних у невеликих кількостях, визначається лише в коксі, призначеному для виплавки спеціальних чавунів. При сучасних автоматизованих способах гасіння коксу вміст вологи в ньому може бути практично постійним. Державним стандартом передбачається вміст у доменному коксі вологи не більше 5 %.

Вміст летючих речовин у коксі знаходиться в межах 0,8-1,2 %. Збільшення вмісту золи в коксі визначає зниження його теплотворної здатності. Крім того, для плавлення мінеральних домішок золи вводять флюси для їхнього ошлакування, що призводить до додаткових витрат коксу. Все це приводить до зниження продуктивності доменних печей. Залежно від конкретних умов зі збільшенням вмісту золи на 1 %, витрата коксу збільшується на 1,2-3,0 %. Відповідно на таку ж величину знижується продуктивність доменної печі. До цього можна додати, що в місці включення породи послаблюється міцність тіла коксу, тобто полегшується виникнення тріщин у процесі коксоутворення.

Ще більш шкідливою домішкою є сірка. Через високу сірчистість коксу в доменній печі доводиться застосовувати основні шлаки, що підвищує вимоги до механічної міцності та крупності коксу, а також приводить до збільшення витрати вапняку. Для теплового режиму доменної печі велике значення має абсолютне значення вмісту золи, сірки та вологості коксу.

Завантаження коксу в доменні печі здійснюють по масі. Коливання вологості та зольності коксу веде до коливання кількості вуглецю, що вводять у піч, тобто до порушення її теплового стану.

Якщо з питання про вплив золи і сірки коксу на роботу доменних печей існує єдина точка зору, то погляди про вплив на роботу печей фізико-хімічних властивостей коксу (пористість, реакційну здатність і т.д.) у ряді випадків прямо протилежні.

Основними факторами, що впливають на пористість коксу, є: властивості коксівності засипу, щільність засипу та температурні умови коксування (швидкість нагрівання, кінцева температура).

Під фізико-механічними властивостями коксу мають на увазі ситовий склад коксу, опір зусиллям, що дроблять, і стиранню. Вимоги до міцності коксу призводяться до того, щоб у доменній печі кокс від колошника до фурм доходив із мінімальними змінами розміру. Гранулометричний склад коксу повинен забезпечувати гарну газодинаміку стовпа шихтових матеріалів. У результаті досліджень радянських і закордонних фахівців встановлено, що достатня газопроникність шару кускових матеріалів найкраща у випадках, коли більш дрібні куски не можуть розміститися між великими. Такий варіант можливий, коли співвідношення лінійних розмірів самих крупних і самих дрібних кусків становить не більше двох. Верхня й нижня межа крупності кусків багато в чому визначаються підготовкою іншої частини шихти. Оскільки рівень підготовки неоднаковий, можна зустріти різні вимоги до ситового складу коксу. Крім того, кокс, вироблений у різних країнах, має різко відмінну характеристику міцності, що також обумовлює розходження у вимогах до гранулометричного складу. У нашій країні довгий час прагнули до коксу одержання можливо більшого розміру. Характеристикою крупності був вміст у коксі класів >60 мм. Особлива увага приділялася коксу класу 80-60 мм. У зв'язку зі збільшенням обсягу доменних печей і зниженням витрати коксу на тонну чавуну вимоги до таких показників якості коксу, як однорідність ситового складу і вміст 11 класу 80-

60 мм, підвищилися. Нижньою межею крупності коксу на різних заводах є або 25, або 40 мм. За даними іноземних авторів, при використанні легко відновної рудної складової шихти варто використовувати кокс крупністю 10-40 мм, а при ретельно підготовленій шихті (з погляду коксівності) доцільно дробити кокс до 20-80мм. Існують й інші думки з питання про бажану крупність кусків доменного коксу. Оскільки в нижній частині доменної печі газопроникність забезпечується тільки коксом, питання про оптимальні розміри вихідних кусків повинні вирішуватися з урахуванням його схильності до руйнування [1].

Потрібно сказати, що велике значення мають не тільки якісні показники фізико-механічних властивостей коксу, але і їх стабільність.

Якість коксу, що поставляють у доменні цехи металургійних заводів України, є основним чинником, що визначає техніко-економічні показники їхньої роботи в порівнянні з аналогічними цехами закордонних підприємств (таблиця 1.1). Як вказано з таблиці 1.1 в 2009 р. тільки доменні печі ПАТ "Алчевський МК" завантажували кокс із високими показниками холодної міцності, у той час як доменні цехи ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" одержували кокс значно гіршої якості по показниках M_{25} , M_{10} і золі. Все це відбивається на рівності ходу та продуктивності печей, витраті коксу і температурі чавуну. Негативні тенденції в забезпеченні доменного виробництва України якісним коксом зв'язані, у першу чергу, зі зменшенням запасів добре спікливого вугілля марок К і Ж та змушеним уведенням у шихту вугілля газової групи. Погіршення вугільної бази коксування добре було видно вже в середині минулого століття, коли були запропоновані та розроблені основні напрямки і способи підвищення якості коксу в умовах, коли змінюється марочний склад вугілля. Багато підприємств обмежені певним марочним складом вугілля і змушені складати шихту в рамках тільки тієї вугільної бази, що мають. У цих умовах сучасного стану сировинної бази коксування коли відсутнє постачання якісних спікливих вугільних концентратів, з урахуванням військового стану коли є надходження тільки

вугілля далекого зарубіжжя і тільки обмежених марок вугілля, щоб підвищити якість коксу, проводиться сортування коксу та його позапічна обробка різними складами [2].

Таблиця 1.1

Якість коксу, що використовувалася на підприємства України в 2009 р.

Найменування підприємства	Сірка, %	Зола, %	+80 мм	M ₂₅ ,%	M ₁₀ ,%	Волога, %
АМКР ДЦ № 1	0,85	12,8	10,7	84,4	8,9	3,9
АМКР ДЦ № 2	0,81	11,7	8,4	85,7	7,8	4,2
ОАО "Єнакіївський МЗ"	1,31	11,5	8,9	88,3	7,5	2,6
ОАО "МК "Азовсталь"	1,28	11,7	6,5	88,5	7,4	2,8
ЗАО "Донецьксталь - МЗ"	0,85	10,8	5,9	88,7	6,9	5,1
ОАО "Краматорський МЗ"	1,42	11,3	6,5	87,5	6,9	4,0
ОАО "Маріупольський МК ім. Ілліча"	1,18	11,3	9,1	86,7	7,6	4,3
ОАО "Алчевський МК"	1,12	11,1	4,9	88,2	5,9	2,5
ОАО "Дніпровський МК ім. Дзержинського"	1,29	11,3	7,2	87,5	7,1	3,8
ОАО "Запоріжсталь"	1,36	11,7	7,1	86,9	7,7	4,9
ОАО "Дніпропетровський МЗ ім. Петровського"	1,11	11,9	9,3	87,2	7,8	3,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2]

Аналізуючи дані таблиці 1.2 можна зробити висновок, що одним зі способів підвищення якості коксу є його позапічна обробка, яка може здійснюватися шляхом застосування сухого гасіння коксу, сортування його на вузькі класи, механічної обробки та обробки коксу різними складами коксу.

Таблиця 1.2

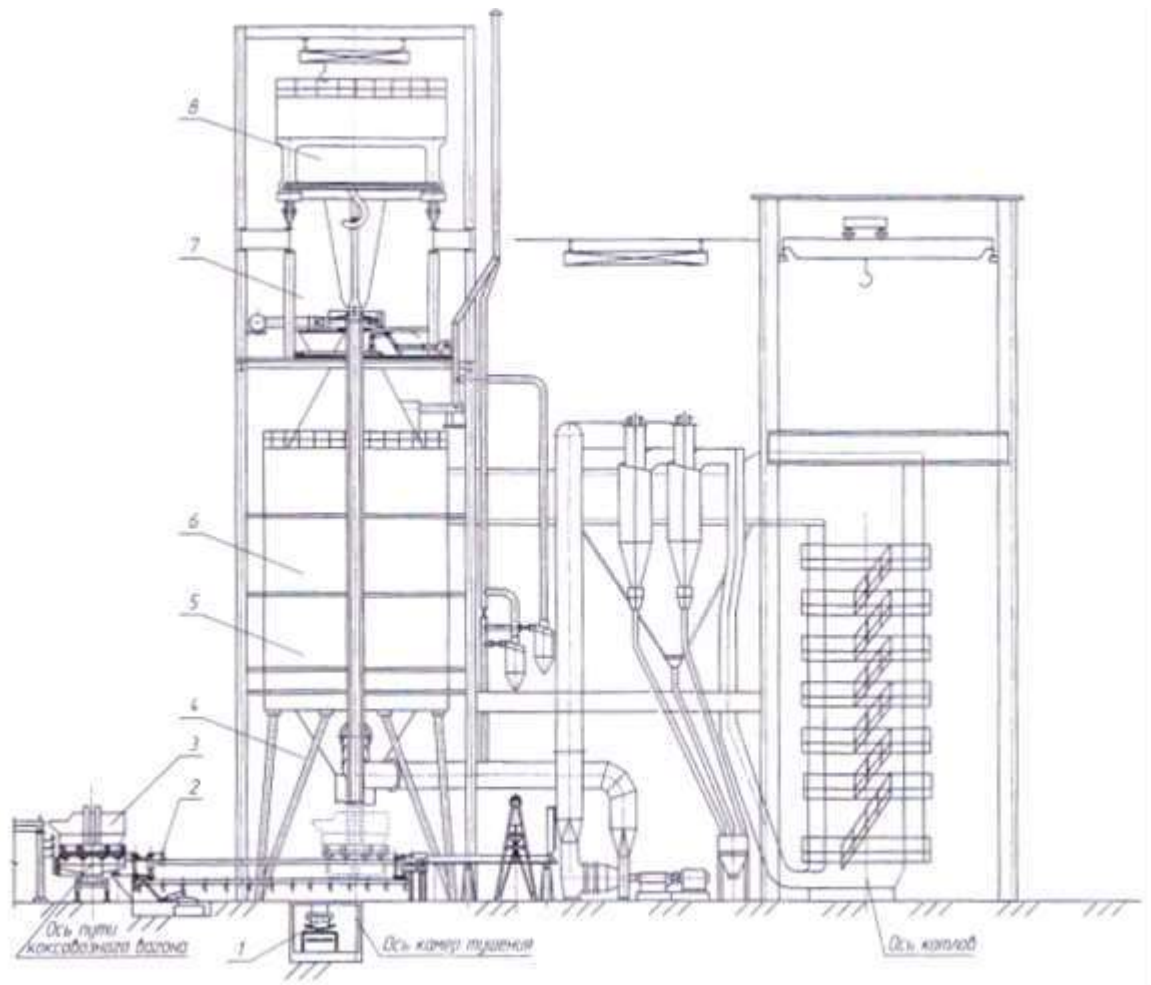
Способи підвищення якості коксу

Напрямки	Способи
1. Підготовка вугілля до коксування	1. Оптимізація марочного складу і властивостей вугільної шихти, які визначають фізико-механічні властивості коксу. Прийнято, що показники якості оптимальної шихти мають бути на рівні: $R_{ox} \geq 1,125\%$; $V_t \geq 65\%$; $V^d \geq 25\%$; $y > 14$ мм; $SI \geq 6$. 2. Методи збільшення насипної маси вугільної шихти (зниження вологості, виборче здрібнювання, гранулювання, брикетування, трамбування формування в пластичному стані, термічна підготовка)
2. Усадка вугільної шихти при коксуванні	1. Термічна підготовка 2. Способи, які спрямовані знизити вологість вугільної шихти
3. Факторами, що впливають на пористість коксу	Спосіб збільшення властивості коксівності <u>засипу</u> , щільність <u>засипу</u> та температурні умови коксування (швидкість нагрівання, кінцева температура)
4. Позапічна обробка коксу	Застосування сухого гасіння коксу, сортування його на вузькі класи, механічної обробки та обробки коксу різними складами коксу.

Примітка. Джерело: розроблено автором

1.2 Позапічна обробка коксу шляхом сухого гасіння коксу

Промислова установка сухого гасіння коксу системи Гіпрококсу (рис. 1.1) [3] складається з гасильної камери з механізмами подачі та розвантаження коксу і спеціального казана-утилізатора з усім стосовним до нього допоміжним устаткуванням. Кокс завантажують у гасильну камеру періодично. Розпечений кокс із коксової печі вивантажується в спеціально сконструйований вагон і доставляється до камери гасіння; кузов вагона піднімається й доставляється до завантажувального люку камери гасіння піднімальним пристроєм. Всі операції по підйому, переміщенню, розвантаженню й спуску кузова вагона автоматизовані. Камера гасіння виконана циліндричної форми і для підвищення газопроникності, обшита металевими листами. Погашений кокс видається періодично, порціями, частота видачі встановлюється спеціальним реле часу залежно від заданої продуктивності.



1 - конвеєр коксу; 2 - стягуючі пристрої; 3 - гасильний вагон; 4 - розвантажувальний пристрій; 5 - напрямні в шахті підйому; 6 - камера гасіння; 7 - завантажувальний пристрій; 8 - під'ємник

Рис. 1.1. Розріз по блоку УСГК з груповим під'ємником

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Сухе гасіння дає можливість використати не тільки фізичне тепло розпеченого коксу для одержання пари, але й підвищити якість коксу й техніко-економічні показники доменної плавки. Крім того знижується забруднення повітряного й водного басейнів. При гасінні 1 т коксу можна одержати 400 кг пари енергетичних параметрів. Витрата інертних газів на гасіння 1 кг коксу з нагріванням газу до 800 °С становить 1,5 м³. Робота УСГК характеризується наступними показниками:

Продуктивність 1-й камери по коксі, т/год 50-54

Температура гарячого коксу, °С 1000-1050

Температура охолодженого коксу, °С 200-250

Продуктивність котла-утилізатора по парі, т/год

Тиск перегрітої пари, МПа 3,9

Температура перегрітої пари, °С 450

Витрата циркулюючого газу, м³/год 74000-80000

Температура циркуляційного газу, °С на вході в котел 750-800 на вході в камеру 180-200.

Ефективність роботи УСГК як теплотехнічного агрегату характеризує коефіцієнт корисної дії. У середньому він становить 0,78-0,8.

В результаті впровадження та роботи таких установок УСГК на коксохімічних виробництвах було підтверджено покращення якості коксу, а саме:

а) у форкамері установки сухого гасіння коксу за рахунок акумульованого тепла підтримується практично постійна температура коксу на рівні кінцевої температури коксування;

б) збільшення часу перебування коксу у форкамері при зазначеній температурі приводить до підвищення його міцності, цей висновок передбачає доцільність збільшення обсягу форкамери у конструкціях нових УСГК;

в) зниження періоду коксування на величину, близьку до перебування коксу у форкамері, не приводить до погіршення якості коксу. Для підтвердження висновку про позитивний вплив сухого гасіння на якісні показники коксу в таблиці 1.3 наведена порівняльна характеристика властивостей коксу сухого й мокрого гасіння.

Таблиця 1.3

Порівняння властивостей коксу сухого й мокрого гасіння

Найменування	Спосіб гасіння	Ситовий склад коксу (% по класам, мм)			Міцність		Вихід коксу, %		Питома виграга коксу на 1 т чавуну, кг
		+80	25-40	0-25	M ₂₅	M ₁₀	Валового коксу від шихти	Доменного коксу від валового	
Кокс Авдеєвського КХЗ	Сухий	10,8	12,8	1,0	80,5	7,2	77,9	90,0	510,7
	Мокрий	11,4	12,7	1,6	74,7	7,9	78,6	91,3	521,4
Кокс Череповецького КХЗ	Сухий	8,5	9,5	2,3	79,3	7,2	77,9	86,1	466,4
	Мокрий	11,8	8,7	2,4	73,6	7,6	78,2	86,1	745,6

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [4]

Як видно з таблиці 1.3, кокс сухого гасіння Авдеєвського коксохімічного заводу й Череповецького металургійного комбінату по показникам фізико-механічних властивостей відрізняється від коксу мокрого гасіння. Так, для коксу сухого гасіння показник M_{25} у середньому на 5% вище, а стираність його по M_{10} на 0,5 % нижче, ніж коксу мокрого гасіння. Гранулометричний склад коксу сухого гасіння також відрізняється більш високою рівномірністю, вміст фракцій +80мм у ньому на 1,5% нижче, ніж у коксі мокрого гасіння. Поліпшуються також техніко-економічні показники.

1.3 Підготовка коксу до доменної плавки, механічна обробка та сортування на вузькі класи

Схеми сортування коксу дають можливість розділити його на вузькі класи, що є одним із засобів підвищення якості доменного коксу.

1.3.1 Механічна обробка

Дослідження з механічної обробки коксу в апараті барабанного типу й проведення доменних плавок дозволили рекомендувати механічну обробку як найбільш реальний спосіб поліпшення якості металургійного коксу. Результатами більш пізніх досліджень показано, що завдяки відповідній глибині додаткової механічної обробки можна поліпшити якість металургійного коксу в умовах діючих коксових батарей не тільки при коксуванні сучасних шихт, але й перспективних - за участю газового вугілля до 50 % . Результати досліджень, виконаних на Баглейському коксохімічному заводі [5], по визначенню числа обертів стандартного барабана, еквівалентного (по вмісту класу >80 мм) руйнуванню коксу на трактах і в пристроях, що сортують. При цьому виявилось, що по зміні вмісту в коксі класу >80 мм робота руйнування еквівалентна 8 обертам, а по утворенню дріб'язку - 23-25 обертам. Отже, для вирівнювання міцнісних властивостей великих класів з основною масою достатня додаткова механічна обробка, еквівалентна 8-10 обертам стандартного барабана. Вивчення динаміки руйнування класу >80 мм, виділеного з рампового та товарного коксів, виявило, що показники міцності (M_{10} , M_{25}) класу >80 мм товарного коксу вище, ніж рампового і руйнування його в стандартному барабані йде менш інтенсивно. Це показує, що в товарному коксі куски крупніше 80 мм більш міцні, ніж у рамповому. Отже механічну обробку крупних класів варто здійснювати як найближче до коксової рампи. УХІН [5] запропонував обробляти кокс у потоці із застосуванням ударних футерованих плит, розташували їх на першому (після рампи) перевантажувальному вузлі коксоподачі. Таке конструктивне рішення свого часу було реалізовано на Ясинівському, Баглейському, Єнакіївському, Жданівському, Комунарському, Авдієвському коксохімічних заводах на батареях №1, ПАТ «АМКР». Є доцільність впливати та формувати якісні характеристики коксу за рахунок механічних пристроїв: установки в жолобах відбійних плит, впливу на кокс без-

посередньо на валковому грохоті регламентованим тиском і монтажу спеціального додріблюючого механізму.

Є пристрій, що дозволяє проводити механічну обробку з диференційованим для кожної фракції коксу режимом механічної обробки, що забезпечує поліпшення міцних характеристик коксу і виключає утворення коксового дріб'язку.

Цей результат досягається за рахунок вибору величини і напряму механічних зусиль відповідно умовам розкриття внутрішніх тріщин в крупних кусках коксу.

Пристрій працює таким чином.

Кокс поступає із завантажувального пристрою на валки 2, що змонтовані на рамі 1 (рис. 1.2). В результаті нахилу опорної рами 1 кокс під дією сили тяжіння рухається уздовж валків 2. При цьому відбувається розділення потоку коксу по фракціях і дрібні куски відсіваються в підгратчастий продукт, а задана фракція коксу вільно проходить під барабаном.

Крупні куски коксу потрапляють під барабан 4 і роздробляються.

Цей пристрій пройшов випробування в умовах промислового металургійного підприємства [8] при розсіванні доменного коксу, що містить фракції +80, 80-60, 60-40, 40-25, 25 мм. Результати випробувань наведені в таблиці 1.4.

Аналіз отриманих результатів показав, що вживання пристрою для механічної обробки коксу на валковому грохоті забезпечує зменшення фракції + 80 мм на 5-7 %.

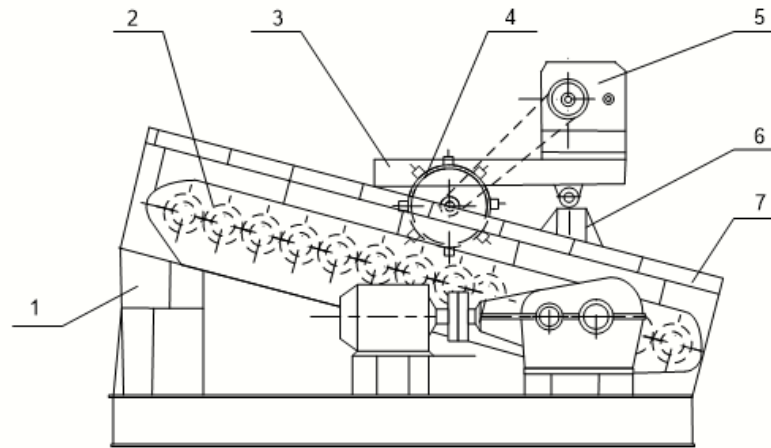
Вплив на крупні куски коксу регламентованим тиском дозволяє здійснити установку для об'єднаної класифікації та механічної обробки коксу регламентованим тиском (MOT). Обробка коксу регламентованим тиском передбачає установку над грохотом гризли додаткового пристрою [11].

Таблиця 1.4

Ефективність механічної обробки коксу на валковому грохоті з диференційованим режимом

№ партії	Вид коксу	Ситовий склад коксу по фракціях, %					Міцність коксу, %	
		+80	80-60	60-40	40-25	-25	M ₂₅	M ₁₀
1	Початковий	19,3	26,7	37,7	11,8	4,5	85,8	8,6
	Після обробки	11,5	24,3	44,3	16,2	3,7	86,4	8,3
2	Початковий	19,0	30,7	35,5	11,6	3,2	85,7	9,0
	Після обробки	11,9	28,7	41,9	13,8	3,1	86,1	8,3
3	Початковий	13,2	22,0	44,8	16,4	3,6	86,2	8,2
	Після обробки	6,4	23,0	47,9	18,7	4,0	86,4	8,0
4	Початковий	17,2	24,5	38,9	15,8	3,6	80,6	8,2
	Після обробки	7,7	25,7	45,6	17,0	4,0	86,8	8,0
5	Початковий	12,7	24,0	45,1	15,3	3,2	86,8	8,0
	Після обробки	6,1	23,9	48,2	17,5	4,3	87,0	8,0
6	Початковий	16,2	26,5	46,7	12,9	3,8	86,2	9,6
	Після обробки	5,9	19,8	49,9	20,7	3,7	87,1	7,6

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]



1 - рама валкового грохоту; 2 - валки; 3 - додаткова рама; 4 - барабан;
5 - привід; 6 - шарнір; 7 - направляючі

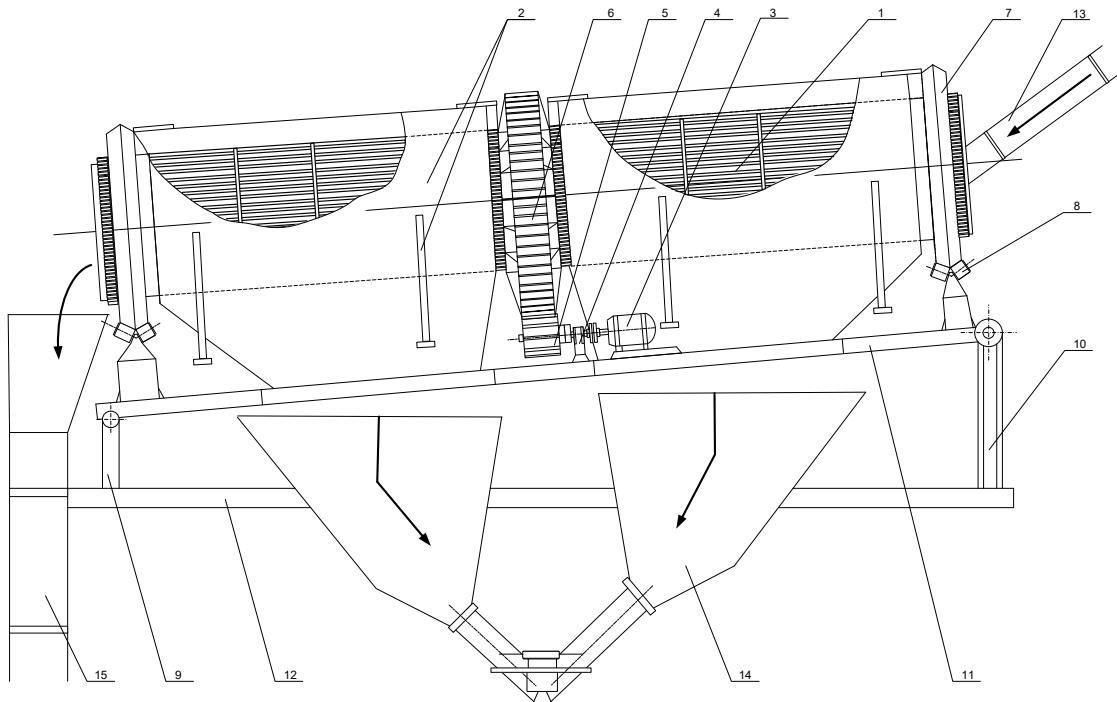
Рис. 1.2. Пристрій для механічної обробки коксу на валковому грохоті з диференційованим режимом, застосований в умовах підприємства «Криворіжсталь»

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

1.3.2 Сортування коксу при одночасній стабілізації і можливості поліпшення його фізико-механічних властивостей до заданого значення

Спосіб поліпшення фізико-механічних властивостей коксу в результаті його механічного руйнування, при якому кокс обробляють в обертовому барабані з поверхнею, що просіває, режим роботи якого регулюють зміною розміру отворів у ситах, швидкості обертання та ступень заповнення барабана, не завжди дає позитивний результат. Всі названі параметри не управляються оперативно, і зв'язок між ними, вихідною якістю коксу та якістю коксу що одержується на виході, не завжди встановлюється. Крім того, змінна швидкість обертання змінює умови накладення руйнуючих впливів і робить весь процес важкопередбачувальним. Промислового застосування в коксохімії барабанні агрегати не знайшли. У той же час вони багато в чому є привабливими: легко вписуються в безперервний технологічний процес, легко регулюються по продуктивності та величині руйнуючих впливів і можуть сполучати в собі різні функції. Так, наприклад, агрегат для одержання заданих властивостей коксу (АПЗСК) [6], що представляє собою барабан зі змінним кутом нахилу та має функції стабілізації коксу, класифікації і поліпшення його якості по обраному показнику до бажаного рівня (рис. 1.3). Робота його досить проста і зрозуміла з рисунку. Відомо, що під дією механічних навантажень на кокс і руйнування його що відбувається внаслідок цього, його фізико-механічні властивості змінюються. Руйнування коксу відбувається й в умовах звичайного, традиційного сортування, як елемента підготовки його для використання металургами. Однак ці руйнування відносно невеликі та не регульовані. У той же час використання коксового сортування для керування фізико-механічними властивостями в сучасних умовах стає особливо актуальним. Розроблені математичні моделі руйнування коксу й зміна показників його міцності залежно від величини руйнуючих зусиль, виражених в умовних одиницях, дозволяють запропонувати в якості першого елемента, що сортує,

на коксовому сортуванні агрегат одержання заданих властивостей коксу (АПЗСК).



1 - класифікаційний барабан; 2 - кожух з опорами; 3 - електропривод; 4 - редуктор; 5 - провідна шестірня приводу; 6 - ведома основна шестірня приводу; 7 - опорний кільцевий обод барабана; 8 - роликові опори; 9 - площадка розміщення барабана; 10, 11 - система зміни кута нахилу: шарнірна опора й підйомник; 12 - будівельний майданчик розміщення АОЗСК; 13 - жолоб коксу, що завантажується; 14 - розвантажувальний жолоб підбарабанного провалу; 15 - розвантажувальний жолоб барабана

Рис. 1.3. Схема агрегату одержання заданих властивостей коксу (АОЗВК)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

Агрегат являє собою барабан, циліндрична поверхня якого виконана у вигляді профільних стрижнів з відстанню між ними, що залежить від крупності надрешітної частини коксу, або у вигляді змінних карт із отворами заданого розміру й форми. Відомо, що матеріал, який перебуває усередині

обертового барабану, залежно від частоти обертання може перебувати в каскадному, водоспадному або центрифужному режимах. Перехід у центрифужний режим барабану діаметром D виникає при частоті обертання, рівній $42,4/V^d$, названій критичною. АПЗСК установлюється під деяким кутом з можливістю його зміни, а також з можливістю подачі в барабан потоку коксу та прийому надрешітного і підрешітного продуктів. Барабан обертається із постійною частотою, що забезпечує каскадно-водоспадний режим руху матеріалу. Виходячи з розрахунків кута нахилу та шляху проходження коксу однакової довжини коксу від початку до кінця, результат був однаковий як у АПЗСК, так і в «Мікум-барабані». Цей тип барабану був стандартним і застосовувався для випробування коксу. Так як ці параметри однакові, то випробування були проведені в цьому барабані. У період нестабільної роботи коксових печей з рампи відбирали проби коксу на випробування властивостей. Кожну пробу після розсіву ділили навпіл. З однією частиною проводили випробування в «Мікум-барабані» в паралельних визначеннях. Другу частину обробляли порціями по 50 кг у цьому ж барабані при 20 обертах. Виконували загальний розсів обробленого коксу й з цієї частини знаходили в паралельних визначеннях стандартні показники M_{25} й M_{10} . Найцікавіші результати випробування 10 проб представлені в таблиці 1.4.

1.4 Актуальність позапічної обробки коксу

Кам'яновугільний кокс застосовується в багатьох виробництвах чорної та кольорової металургії, а також хімічної промисловості. Основним споживачем коксу є доменний процес, тому виробництво коксу і його якість спрямовані на задоволення тих умов, що мають місце в доменній печі під час виплавки чавуну. Тому доменний кокс повинен характеризуватися високою механічною міцністю і відносно низькою реакційною здатністю. Однак існує ціла низка інших споживачів коксу, які висувають до його якості свої вимоги.

Таблиця 1.4

Випробування коксу в Мікуум-барабані

№ п/п	Властивості вихідного коксу, %			Властивості обробленого коксу, %, n = 20		
	> 80 мм	M ₂₅	M ₁₀	> 80 мм	M ₂₅	M ₁₀
1	21,6	86,0	9,1	4,8	89,0	7,6
2	22,0	88,0	7,4	3,3	90,6	6,2
3	14,0	91,6	6,2	6,4	93,4	5,1
4	25,8	90,1	6,9	4,9	92,2	5,7
5	32,5	89,8	8,0	14,9	92,0	6,6
6	27,7	90,2	6,6	11,7	92,3	5,5
7	26,2	89,0	7,6	7,1	91,4	6,3
8	27,8	89,2	8,6	13,1	91,5	7,1
9	35,8	83,7	10,4	14,3	87,1	8,8
10	15,2	83,9	8,5	1,7	87,3	7,2
Середнє	24,9	88,2	7,93	8,2	90,7	6,6
Стандартне відхилення	6,9	2,73	1,27	4,60	2,17	1,10

Виходячи з цього, отримання коксу різної якості для широкого кола виробничих процесів є важливим завданням. Якість коксу залежить від властивостей вугільної сировини, технології підготовки шихти до коксування, умов коксування, способів післяпічного оброблення - тушіння, сортування коксу і обробки його різними реагентами. Найефективнішим шляхом поліпшення якості коксу, без впливу на технологію його виробництва, є післяпічна обробка. На коксохімічному виробництві кокс після видачі з печі піддається гасінню (мокрому і сухому) і сортуванню за класами крупності. Крім цих технологічних операцій в якості заходів впливу на властивості коксу використовують способи його обробки різними речовинами, які засновані на зрошенні коксу водними розчинами різних реагентів [1, 2] і нанесенні на поверхню попередньо зволоженого коксу пилоподібних речовин, наприклад, колошникового пилу [3]. Недоліками зазначених способів є обробка коксу перед його сортуванням, руйнування утвореного «захисного шару» під час транспортування, слабка ефективність обробки коксу водними розчинами реагентів і у зв'язку з цим необхідність

застосування поверхнево-активних речовин, наявність шкідливих випарів на поверхні коксу на робочих місцях. Як реагенти, здатні цілеспрямовано впливати на властивості коксу, наприклад, знижувати його реакційну здатність, можуть використовуватися оксиди (B_2O_3 , TiO_2) і AlF_3 [4]. У той же час оксиди лужноземельних металів Ва, Са, Mg, лужного металу Na і металів Fe, Сі та V чинять каталітичний вплив на властивості коксу [4].

1.5 Висновки до аналітичної частини

1. Для доменної плавки потрібен кокс: з середньою крупністю 40-60 мм; M_{25} 89-90 %, стиранистю M_{10} 5-6 %; вмістом класів +80 мм 6-8 %, - 25 мм 4-6 %; реакційною здатністю (CRI) 22-26 % та післяреакційною міцністю 65-70 %.

2. Основними напрямками підвищення якості коксу є: підготовка вугілля і шихт для коксування; зниження градієнту усадок шихти при її коксуванні; зміцнення тіла коксу; підготовка коксу до доменної плавки.

3. Основними способами підвищення якості коксу є:

- підбір оптимального марочного складу вугілля (кількість Ж, К і ПС, показник відбиття вітриніту, вихід летючих, товщина пластичного шару, вміст золи, вологи, сірки й т.д.);

- збільшення насипної маси вугільної шихти (зниження вологості, виборче подрібнювання, гранулювання, брикетування, трамбування в пластичному стані);

- термічна підготовка шихти;

- підвищення температури коксування;

- сухе гасіння; сортування на вузькі класи; механічна обробка;

- позапічна обробка різними складами.

4. Одним із засобів підвищення якості доменного коксу є позапічна обробка його різними складами, що дає можливість підвищити механічну та гарячу міцність коксу та знизити його реакційну здатність. Однак, як показує

літературній огляд, питання впливу обробки коксу різними складами з метою підвищення його якісних показників вивчено недостатньо.

5. Визначено актуальність та перспективність позапічної обробки поверхні коксу хімічними складами, вона дає можливість: в значній мірі підвищити якість коксу та техніко-економічні показники доменних плавок та коксохімічних підприємств; покращити умови праці в коксовому цеху.

Технології поліпшення показників CRI і CSR шляхом хімічної обробки готового коксу є ефективними, але запровадження їх вимагає поширеного вивчення та промислового дослідження.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Методи позапічної обробки коксу різними складами для поліпшення показників холодної міцності M_{25} та стираності M_{10} коксу

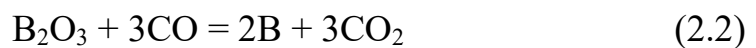
Нині однією з основних вимог, що пред'являються до якості доменного коксу, є міцність коксу після реакції (CSR), яка безпосередньо пов'язана з індексом реактивності коксу (CRI). Ці показники якості доменного коксу враховують вимоги, що пред'являються до коксу під час знаходження його в доменній печі, тобто характеризують поведінку коксу за підвищених температур і впливу на нього окислювальних газів. Проведені раніше в ІнФВУ Національної академії наук України дослідження показали, що попередня обробка шихти для коксування та окремих вугілля слабкими розчинами та суспензіями деяких лугів, солей і кислот має істотний вплив на спікання та коксованість продуктів їхнього піролізу. Ящикові коксування на Авдіївському коксохімічному заводі підтвердили результати лабораторних досліджень і лягли в основу низки авторських свідоцтв. Спільно з французькими колегами було проведено дослідження характеру взаємодії сполук кальцію з речовиною вугілля під час піролізу. Нами висловлено припущення про можливість впливу на доменний кокс неорганічними речовинами, здатними за високих температур плавитися без розкладання і випаровування, розтікаючись поверхнею коксу, а також проникаючи в пори та тріщини, ці речовини повинні бути здатні утворювати шар, стійкий до дії окислювальних газів (O_2 , CO_2 та ін.) за високих температур. Утворений з неорганічної речовини «захисний шар» має перешкоджати вільному проникненню окислювальних газів до поверхні та всередину шматків коксу, тим самим знизити можливість перебігу реакцій між речовиною коксу та окислювальними газами. Зрештою, це запобіжить передчасному руйнуванню структури коксу і відповідно підвищить його гарячу міцність, тобто показник CSR. Відомі різні методи позапічної обробки коксу з метою збільшення

міцності та зниження реакційної здатності, зокрема, обробка поверхні коксу неорганічними речовинами. Встановлено теоретичну можливість взаємодії вуглецю коксу з хімічними сполуками бору, наприклад з борною кислотою. Можлива схема хімічних реакцій складається з кількох етапів:

- під час нагрівання борна кислота H_3BO_3 переходить у метаборну кислоту HBO_2 , а потім у борний ангідрид B_2O_3 ;

- відновлення борного ангідриду вуглецем до карбіду бору B_4C .

Однак, рівноважна температура утворення карбіду бору за сумарною реакцією:



за умови $P_{CO} = 1$ атм. – около 1400 °С.

Для підвищення якості коксу КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, у даній бакалаврській роботі пропонується ряд способів його позапічної обробки. Для визначення найбільш ефективного способу розглянемо усі відомі.

Спосіб нанесення захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння шляхом зрошення емульсією на водній основі наступного складу, мас. %: вода - 97,00, рідке скло - 0,45, вогнетривка глина - 2,55. З метою запобігання паро- і пилоутворення та підвищення якості коксу, емульсію наносять двома порціями, причому першу порцію, в кількості 65-85 % від загальної кількості, подають імпульсом за 1-4 с [7].

При нанесенні в такий спосіб захисного покриття на водній основі на поверхню коксу сухого гасіння відбувається одночасне охолодження коксу. Знаходячись у порах і капілярах, адсорбовані гази, охолоджуючись, скорочуються в обсязі, і вакуум, який утворився в порах коксу, втягує емульсію на певну глибину, що створює додатковий ефект так званої капілярної міцності, який полягає в тому, що меніски рідини стягують стінки капілярів, виконуючи роль додаткових ланок міцності. Захисна оболонка, що утворюється на поверхні

коксу за рахунок покриття, збільшує його механічну міцність. Оскільки кусок коксу має неправильну геометричну форму, то охолодження його після нанесення першої порції покриття буде не скрізь однаковим і, отже, не повно виключається пароутворення. Для запобігання можливого пароутворення та більш рівномірної і повної обробки поверхні кусків коксу іншу частину захисного покриття наносять пристроями, що розбризкують його по ходу транспортування коксу. Пропонований спосіб нанесення захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння був здійснений у коксовому цеху ПАТ «АМКР» Кокс із камери сухого гасіння з температурою 200 °С надходив на конвеєр, який рухався. Над ним розмістили розпилюючі форсунки, які зрошували кокс. При надходженні коксу під пристрої автоматично подається сигнал на його зрошення захисним покриттям. В якості захисного покриття була використана емульсія на водній основі наступного складу, мас. %: вода - 97,00, рідке скло - 0,45, вогнетривка глина - 2,55. Першу порцію покриття в кількості 75 % (22,5 г/кг) від загальної його кількості через парасоль імпульсом за 2 сек подають на шар коксу висотою 200-250 мм. Другу порцію емульсії, 25 % (7,5 г/кг), наносять на поверхню коксу зрошенням з форсунок по ходу руху конвеєра. Далі оброблений і охолоджений до температури 50 °С кокс надходить на класифікацію по крупності, потім його відвантажують споживачеві. Результати проведених випробувань представлені в таблиці 2.1. З даних таблиці 2.1 видно, що найкращі результати по запобіганню паро- і пилоутворення та підвищенню якості коксу, отримані при нанесенні першої порції покриття на поверхню коксу імпульсом за 2 сек у кількості 75 %. У цьому випадку виключається пароутворення, практично повністю, на 95 %, ліквідоване пилоутворення. При цьому покращилась якість коксу по показниках M_{25} і M_{10} без підвищення вмісту золи. Запропонований спосіб нанесення захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння, як показали випробування, дозволяє використати вакуумно-капілярний ефект матеріалу коксу для поліпшення його якості, виключити паро- і пилоутворення, перезволоження коксу і нанести точно розраховану кількість покриття.

Таблиця 2.1

Результати промислових випробувань з нанесенням захистного покриття на поверхню коксу сухого гасіння

Кількість першої порції покриття, яку подають імпульсом за 2 сек, %	Кількість пари, що утворилась при нанесенні покриття, %	Зниження запилюваності навколишнього середовища	Якість металургійного коксу		
			M ₂₅ , %	M ₁₀ , %	A ^c , %
50	20,0	70,0	88,1	5,0	10,1
65	10,0	80,0	88,4	4,8	10,1
75	-	95,0	88,7	4,5	10,1
85	10,0	80,0	88,4	4,8	10,1
100	15,0	75,0	88,3	4,9	10,1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Крім того, запропонований спосіб нанесення покриття дозволяє зберегти сталість складу покриття за рахунок пригнічення паротворення при подачі захисного покриття імпульсом на поверхню коксу.

Пропонуємо також спосіб обробки поверхні коксу розплавом пластичних мас з обов'язковим його охолодженням після обробки [8]. Поставлена мета підвищення показників міцності коксу досягається шляхом обробки поверхні шматків коксу розплавом пластичних мас, який одержують з побутових і промислових відходів. Нанесений шар пластичних мас при охолодженні твердне на поверхні шматків і підвищує механічну міцність коксу.

Приклад 1. Кокс із температурою 20 °С обробляють розплавом пластмаси, що має температуру від 280 до 400 °С. Нижня межа температури обумовлена необхідністю переходу пластмаси у рідкий стан, верхня межа не повинна перевищувати температуру запалення розплаву. Охолодження пластмасової оболонки відбувається за рахунок тісного контакту з поверхнею холодного коксу

і віддачі тепла у навколишнє середовище. Тривалість затвердіння оболонки покриття в результаті охолодження перебуває в межах 5-10 сек.

Приклад 2. Кокс із температурою 300 °С (така температура можлива при сухому гасінні коксу), обробляється розплавом пластмаси з температурою 350 °С. При охолодженні на повітрі оболонка твердне за 5-10 хв. Для прискорення процесу затвердіння коксу, шляхом зрошення водою, охолоджується до температури 50-60 °С. У цьому випадку твердіння оболонки протікає за 10-30 сек. Позитивний вплив розплаву пластмаси на властивості коксу обумовлюється тим, що при охолодженні він твердне і "упаковує" шматки коксу в еластичну та міцну оболонку. Ця оболонка має значно більшу вільну поверхневу енергію, чим оболонка, яка утворюється при обробці розчином пластмаси. Розплав пластмаси за рахунок адгезійних сил міцно закріплюється на поверхні коксу. При нагріванні в металургійних агрегатах полімерна оболонка на поверхні коксу при 300-500 °С розплавляється та розкладається. При цьому вуглеводневі продукти розкладання пластичних мас підвищують відновний потенціал газової фази процесу та калорійність газів, які відходять.

Приклад 3. Металургійний кокс сухого гасіння Криворізького коксохімічного заводу крупністю +40 мм, вологістю 0,75 %, формований кокс у формі подушечок 60×40 мм Харківського коксохімічного заводу вологістю 3,3-3,5 % при нормальній температурі обробляють розплавом пластмаси, яка має температуру 320 °С. Обробку ведуть протягом 1 сек. шляхом занурення шматків коксу в розплав, який перебуває в металевій ємності. Потім куски коксу витягають із розплаву і охолоджують на повітрі 5-10 сек (до затвердіння оболонки). Оброблений кокс випробовували на ударну міцність методом чотирьохразового скидання на сталеву плиту з висоти 1,85 м та на стирання в лабораторному барабані при 250 обертах по методу С. М. Тайца (таблиця 2.2). Як видно з таблиці, оброблений кокс який має у порівнянні з необробленим більш високу ударну міцність і підлягає меншому стиранню в барабані. Так, кокс сухого гасіння після обробки збільшує свою міцність при скиданні на 1,75 % і при випробуванні в барабані на 2,49 %, а формований кокс збільшує свою

міцність на 4,5 % і 1,9 % відповідно. Застосування розплаву пластмаси для обробки поверхні коксу дозволяє збільшити міцність коксу при скиданні на 8,5 % і знизити показник стираності на 0,5 %. Використання запропонованого способу обробки поверхні різних видів коксу в порівнянні з відомими забезпечує наступні переваги: зниження до мінімуму втрат коксу на шляху до споживача та поліпшення його ситового складу; усунення пилоутворення з коксу при його перевантаженнях, що поліпшує умови праці в коксовому та металургійному виробництвах; підвищення відновного потенціалу газової фази металургійних процесів і калорійності газів, що відходять.

Таблиця 2.2

Результати випробування коксу на ударну міцність і стираність

Кокс	Волологіст, %	Початкова крупність, мм	Ситовий склад коксу після випробувань на 4-кратне скидання, %			Показники міцності, %	
			+40	40-25	25-10	На скидання	На стираність в лабораторному барабані
Металургійний (сухого гасіння)	0,75	+40	66,70	31,10	1,0	97,80	97,26
Металургійний (зволожений)	4,5	+40	68,33	30,02	0,85	98,35	97,44
Металургійний, оброблений розчином пластмаси	0,75	+40	95,56	3,99	-	99,55	99,75
Формований	3,5	60×40	70,85	24,22	4,06	95,07	97,36
Формований оброблений розплавом пластмаси	3,5	60×40	74,65	24,92	0,22	99,57	99,34

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Наступний спосіб гасіння коксу, що включає охолодження його водною суспензією з концентрацією залізовмісних шламів, відрізняється тим, що з метою зниження стиранності коксу його охолоджують водною суспензією з концентрацією залізовмісних шламів 80-250 г/л до температури 300-400 °С, а завершують охолодження суспензією з концентрацією шламу в ній 250-350 г/л [9]. Кокс - високопористий матеріал з виходом на поверхню великої кількості пор, капілярів, мікротріщин. У готовому коксі 40-45 % пор мають середній розмір більше 15 мкм (з них до 18 % - більше 150 мкм), Газ, який охолоджується у порожнечах кусків коксу, займає менший обсяг і усередині кусків коксу створюється розрідження. Це розрідження називають усмоктувальною силою, удвічі меншою ніж атмосферний тиск. Під дією цієї сили усередину кусків коксу разом з водою спрямовуються тонкодисперсні частки залізовмісного шламу, які проникають в їх поверхневий шар. Розміри часток шламу порівнюють з розмірами пор коксу. Так, шлами мартенівських і конверторних газоочисток містять 50-80 % часток розміром менше 10 мкм. Таке співвідношення розмірів пор коксу і часток шламу сприяє створенню добре адгезійного міцного шламового покриття на поверхні шматків коксу. Перший етап гасіння коксу завершується при температурі його маси 300-400 °С. В інтервалі температур 300-400 °С маса коксу в коксогасильному вагоні має значний запас тепла. Це забезпечує достатнє розрідження у порах для утворення стовщеного шламового покриття шматків коксу при його догашенні на другому етапі водною суспензією з концентрацією залізовмісних шламів 250-350 г/л. У результаті двоетапного способу гасіння коксу на поверхні охолоджених кусків коксу утвориться покриття залізовмісного шламу товщиною 1,5- 2,5мм. Вибір концентрації шламу у водній суспензії, яку використовують для гасіння коксу на другому етапі (250-350 г/л), надав можливість її одержання без використання спеціальних апаратів з рідкоплинністю суспензії, достатньою для розбрикування її через форсунки. При концентрації шламу у водній суспензії більше 350 г/л утруднюється її транспортування по трубопроводу та розбрикування через форсунки. Товщина шару шламового покриття 1,5-2,5 мм обрана за умови,що при товщині шару

менше 1,5 мм відбудеться значна втрата коксу під час його руху, а при шарі більше 2,5 мм - кокс стає менш міцним і при сортуванні руйнується, викликаючи додаткове навантаження на грохот, та погіршує розсів. Двоетапне гасіння коксу водною суспензією з різною концентрацією залізовмісного шламу забезпечує одержання стовщеного шламового покриття коксу, не подовжуючи часу гасіння коксу, в порівнянні з використанням для гасіння коксу суміші фенольної та технічної вод. Тому перший основний етап гасіння коксу до температури 300-400 °С здійснюють водною суспензією з гарною проникливою здатністю (80-250 г/л залізовмісного шламу), а короткий завершальний етап у безпечному (з погляду можливості загоряння коксу) інтервалі температур від 300-400 до 150-200 °С водною суспензією зі вмістом шламу 250-350 г/л. Покритий стовщеним шаром шламу кокс відстоюють у коксогасильному вагоні, потім висипають на рампу, витримують на ній протягом часу (необхідного для випару надлишкової вологи), потім транспортують на коксортувалку, звідки після поділу на класи крупності, відправляють споживачеві. Шламове покриття протягом усього часу руху та перевантажень коксу охороняє його від стирання і, отже, втрати коксу значно скорочуються. Технологія гасіння коксу за пропонованим способом дозволяє одержати більш стійкий до стирання кокс (середній показник M_{10} - 6,68 %) з найбільшою товщиною шламового покриття (середня величина 2,0 мм), призводить до скорочення скидання залізовмісних шламів у відвали та шламонакопичувачі і запобігання забруднення атмосфери та підземних вод. Вищенаведений спосіб [9] можливо удосконалити. Для цього кокс з камер коксової батареї завантажують у дві гасильні камери установки в кількості 250-300 кг у кожну камеру. У першій камері гасіння коксу його зрошують водною суспензією залізовмісних шламів мартенівських газоочисток з концентрацією шламу 80-250 г/л, у другій - суспензією цих же шламів з додаванням подрібнених конверторних шлаків та вапна. Охолоджений кокс потім окремо випробовують на механічну міцність за ДСТ 5953-81, яку оцінюють по показниках M_{25} і M_{10} [10]. Результати оцінки механічної міцності коксу представлені в таблиці 2.3. Як видно з таблиці, кокс оброблений у процесі гасіння суспензією залізовмісних

Таблиця 2.3

Результати дослідження механічної міцності коксу

Дослід	Обробка поверхні коксу в процесі гасіння водношламовою суспензією з добавками, %				Механічна міцність коксу, %	
	Концентрація залізовмісного шламу у водній суспензії	Кількість вапна, яке додається в суспензію залізовмісного шламу	Кількість конверторних шлаків, що додається у залізовмісну суспензію	Вода	M ₂₅	M ₁₀
1	2	3	4	5	6	7
1	20	0	0	80	87,1	7,5
2	20	0	0	80	87,5	7,2
3	20	0,3	6	73,7	87,3	7,35
4	20	0,5	6	73,5	88,5	7,3
7	20	0,3	8	71,7	90,6	6,8
8	20	0,5	8	71,5	91,0	6,2
9	20	2,0	8	70	91,2	6,0
10	20	2,5	8	69,5	90,6	6,4
11	20	0,3	10	69,7	90,8	6,5
12	20	0,5	10	69,5	91,1	6,1
13	20	2,0	10	68	91,3	5,9
14	20	2,5	10	67,5	91,0	6,3
15	20	0,3	12	67,7	88,8	7,4
16	20	0,5	12	67,5	89,4	7,1
17	20	2,0	12	66	89,7	6,9
18	20	2,5	12	65,5	88,9	7,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]

шламів з додаванням вапна та конверторних шлаків, має в порівнянні з коксом, охолодженим по способу [9], більш високу механічну міцність (по відомому способу M₂₅ 87,3 %, по запропонованому способу - 90,6-91,05 %) і піддається меншому стиранню в барабані (по відомому способу M₁₀ - 7,35 %, по запропонованому способу - 6,35-6,2 %).

Таким чином, запропонований метод обробки коксу в процесі його гасіння забезпечує підвищення механічної міцності коксу на 3-4 % і, відповідно, зниження до мінімуму витрат коксу на шляху до споживача; значне зниження

пилоутворення з коксу при його перевантаженнях, що сприяє поліпшенню умов праці як у коксовому цеху, так і в металургійному виробництві, а також охорону навколишнього середовища від забруднення. Крім того, конверторні шлаки по своєму складу близькі до шихтових матеріалів доменної плавки, тому в процесі обробки поверхні коксу він не тільки сприяє утворенню міцного покриття на його поверхні, але й повертається в доменний процес разом з коксом, не знижуючи його реакційної здатності та не порушуючи режиму доменної плавки. Значною мірою може підвищити якість коксу спосіб його обробки шляхом нанесенням на його поверхню захисного покриття на основі рідкого скла, вогнетривкого глинистого мінералу і води. Метою цього способу крім збільшення механічної міцності коксу, є також зниження його окисненості в атмосфері плавильних печей, для чого покриття додатково містить вапняк і бентоніт при наступному співвідношенні компонентів, мас. % [11]: Бентоніт 12-20; рідке скло 12-16; вапняк 12-16; вода. Використання в якості вогнетривкої глини бентоніту обумовлено високим показником колоїдальності цього мінералу (> 90 %), що досить істотно при готуванні стабільних водних суспензій у виробничих умовах. Причому вміст бентоніту в суміші менше 12 % недоцільно, тому що суспензія, яка утвориться при цьому, нестабільна в часі. При вмісті бентоніту в суміші більше 20 % буде потрібно збільшення витрат флюсів для ошлакування додатково внесеної з покриттям золи. Вміст вапняку в межах 12-16 % обмежений основністю шлаків. Кількість рідкого скла в суміші в межах 12-16 % забезпечує досягнення бажаних значень індексу стираності коксу. Збільшення вмісту силікату натрію в суміші понад 16 % не рекомендується, тому що призведе до порушення режиму плавильних агрегатів і економічно не вигідно. Відповідно до способу, дозовану порцію коксу обробляють у бункері протягом 10-20 сек запропонованим складом. При цьому обробляються тільки поверхневі шари палива (до глибини 1-2 мм), що дозволяє відмовитися від додаткової операції - сушіння коксу перед плавкою. Захисне покриття розподіляється рівномірно по поверхні шматків незалежно від місця

знаходження їх у бункері. Були проведені промислові випробування, результати цих випробувань представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Результати промислових випробувань

Кокс	Компонентний склад суміші, мас.%				Вихід коксу 10 мм після 300 об. лабораторного барабану, %	Середня швидкість окислювання киснем повітря, мас. % у хв *	Зольність, %
	бентоніт	вапняк	рідке скло	вода			
вихідний					7,8	1,00	10,1
1	10,0	14,0	14,0	62,0	7,0	0,85	14,0
2	25,0	14,0	14,0	47,0	6,6	0,87	22,0
3	16,0	10,0	14,0	60,0	6,6	0,75	17,0
4	16,0	25,0	14,0	45,0	6,3	0,73	25,0
5	16,0	14,0	10,0	60,0	7,5	0,75	15,0
6	16,0	14,0	25,0	45,0	4,5	0,76	19,0
7	16,0	16,0	16,0	52,0	5,1	0,65	15,0
8	12,0	16,0	16,0	50,0	5,3	0,70	14,5
9	20,0	12,0	16,0	52,0	5,6	0,71	17,4
10	16,0	16,0	12,0	56,0	6,0	0,68	16,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Як видно з таблиці, результати промислових випробувань показали, що кокс оброблений такими складами збільшує температуру перегріву чавуну в середньому на 20-30 °С, в 1,5 рази знижує вміст окису вуглецю у ваграночних газах і на 1,5-2 % скорочує питому витрату коксу на плавку при високій якості металу. Відповідно до способу, в якості складових використовують матеріали, які застосовують у металургійних процесах як флюси, для ремонту арматур печей, приготування формувальних і стрижневих сумішей, і, отже, не потребують організації додаткових поставок сировини для обробки коксу.

На ПАТ «АМКР» досліджували можливість підвищення міцності коксу шляхом його обробки рідким склом [12]. Для цього була відібрана проба металургійного коксу наступного ситового складу: клас >80 мм - 5,6 %; 80-60 мм

- 19,4 %; 60-40 мм - 46,2 %; 40-25 мм - 25 %; 25-0 мм-3,8 %. Проби коксу масою по 60 кг обробляли 20%-им водняним розчином рідкого скла і потім завантажували в дослідну 240-кілограмову піч, де витримували протягом 60 хв при 300 °С. Після застигання визначали міцність коксу в малому барабані. Випробуванням піддавали також сухий і вологий кокс. Установлено, що міцність вихідної проби коксу вологістю 2,5 % по показниках M_{25} і M_{10} становить 72,6 і 8,0 %, відповідно. При висушуванні коксу його міцність трохи знижується. При додаванні до вихідної проби коксу водяного розчину рідкого скла в кількості 2 % і при природному сушінні протягом доби міцність його зросла на 1,9 %, а стиранисть знизилася на 0,5 %. Більш значне зростання міцності коксу спостерігали у випадку аналогічного додавання рідкого скла, але при наступному його сушінні; показник M_{25} збільшився на 4,3 %, а M_{10} зменшився від 8,1 до 7,1 %. Дослідження також показали, що міцність коксу підвищується при збільшеному додаванні до нього рідкого скла.

Таким чином, при обробці металургійного коксу водняним розчином рідкого скла й при наступному нагріванні показники його міцності поліпшуються. Отже, якщо передбачити гасіння коксу водняним розчином рідкого скла, то у верхніх шарах доменної печі в області колошника відбудеться висушування коксу й значне його зміцнення. Це буде сприяти зменшенню руйнування коксу при його русі з матеріалами плавки. Відомо, що рідке скло є сумішшю силікатів калію й натрію. Іони лужних металів є каталізаторами для багатьох реакцій, у тому числі для реакції горіння вуглецю. Отже, обробка коксу рідким склом може підвищити його реакційну здатність, що, звичайно, є небажаним. Виконані дослідження показали, що реакційна здатність необробленого і обробленого рідким склом коксу стосовно кисню практично не змінюється.

Втрати коксу по реакції $C + CO_2 = 2CO$ термодинамічно можливі тільки при температурах вище 800 °С. При цих температурах силікати калію й натрію будуть повністю екстраговані шлаками й з цієї причини практично не можуть здійснити каталітичного впливу на зазначену реакцію. Крім того, відомо, що

рідке скло застосовується для додавання вогнестійкості згораючим конструкційним матеріалам. Це дозволяє припустити, що кокс, покритий тонким шаром рідкого скла, у верхніх і середніх об'їях шахти доменної печі буде охоронятися від газифікації. Установлено, що обробка коксу рідким склом при його гасінні сприяє значному підвищенню його міцності при вторинному нагріванні у верхніх об'їях доменної печі, а також зменшенню його реакційної здатності стосовно CO_2 .

2.2 Методи позапічної обробки коксу для зниження реакційної здатності CRI та підвищення гарячої міцності CSR

2.2.1 Спосіб обробки коксу борною кислотою

Для зниження реакційної здатності коксу пропонується також ряд способів. Спосіб включає нанесення на гарячі куски коксу ($t = 850 \text{ }^\circ\text{C}$) дрібнодисперсної твердої неорганічної сполуки розпилюванням за допомогою попередньо нагрітого газового потоку [13]. В якості неорганічної сполуки для нанесення на кокс застосовують борну кислоту або борати. При цьому відбувається дезактивація коксу стосовно реакції з киснем (O_2) і вуглекислим газом (CO_2) за рахунок утворення при високій температурі захисної плівки з розплавлених боратів на поверхні кусків коксу.

Карбіди бору поєднують у собі чудові фізико-механічні властивості і стійкі до хімічного впливу за високих температур. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що присутність бору в доменному коксі не погіршуватиме якість чавуну і сталі. Проведено серію дослідів з обробки рядового коксу, відібраного на Макіївському коксохімічному заводі. Обробка коксу здійснюється розчинами борної кислоти 5-10 % концентрації при температурах 80-90 $^\circ\text{C}$. Ефективність обробки визначалася копровим методом, за методом Грязнова і за методикою Nippon Steel (індекс реакційної здатності CRI і міцності коксу після реакції з CO в гарячому стані - CRS). Проведені

дослідження показали, що обробка коксу розчином борної кислоти сприяє поліпшенню якості коксу за рахунок зниження індексу реактивності і зростання його міцності. Показник CRI після обробки знижується з 38,3 до 34,9%, а міцність коксу після реакції зростає з 42,3 до 47,3%. Зростає і міцність коксу, визначена за двома зазначеними методиками. Дослідження поверхні коксу, обробленого борною кислотою, показали відсутність хімічної взаємодії вуглецю коксу з H_3BO_4 . Однак, дослідження питомої поверхні коксу за методом БЕТ показали різне зменшення даного показника після обробки коксу борною кислотою, що є, на нашу думку, головною причиною зміни фізико-хімічних властивостей коксу. Крім того, борна кислота належить до хімічних речовин III класу небезпеки за ступенем впливу на організм людини. Тому, до роботи можна приступити тільки в спецодязі, обов'язково користуватися респіраторами для захисту органів дихання, постійно стежити за роботою вентиляційних установок і герметичністю обладнання та комунікацій, дотримуватися правил особистої гігієни. Виходячи з вищевикладеного, нами рекомендовано обробляти поверхню коксу іншими неорганічними речовинами, більш ефективними і безпечними речовинами, ніж борна кислота.

2.2.2 Спосіб обробки коксу водним розчином тетраборату

Відомий спосіб [14] обробки доменного коксу передбачає нанесення на його теплі куски водного розчину тетраборату, що дозволяє забезпечити підвищення індексу міцності коксу після реакції (CSR) та зниження його реактивності (CRI). У даному способі задача вирішується тим, що після вивантаження коксу з коксової печі, гасіння та сортування шматків доменного коксу, які мають температуру 20-50 °С, обробляють розбризкуванням 2-20 %-го водного розчину борату, складеного з ряду: тетраборат натрію, тетраборат калію, тетраборат кальцію; причому для обробки застосовують такий об'єм розчину, щоб кількість сухого борату в коксі відповідала 0,05-0,50 % (мас.) у перерахунку на кокс. Водний розчин борату відповідає основним виробничим вимогам:

розплавлятися без випарювання при високих температурах (>600 °C), бути індиферентним щодо окисних газів. Позитивна дія боратів на поліпшення якісних показників CSR і CRI коксу обумовлена тим, що при температурах >500 °C борати плавляться, переходячи в рідкий стан. Більшість боратів при охолодженні їхніх розплавів легко утворює тверду, досить міцну плівку у вигляді аморфного скла.

Таким чином, борат, знаходячись на поверхні або в обсязі коксу та піддаючись спільному нагріванню з коксом (у доменній печі), розплавляється, створюючи на шматках коксу захисний шар, який охороняє кокс від впливу окисних газів. В якості борату обирають тетраборат лужного або лужноземельного металу: тетраборат натрію ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$ або $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 5\text{H}_2\text{O}$), тетраборат калію ($\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 4\text{H}_2\text{O}$) чи тетраборат кальцію (CaB_4O_7), бо ці солі являються дешевою та доступною сировиною. На відміну від першого способу, за умовами якого кокс обробляють борною кислотою або боратом при температурі 850 °C (необхідна умова для одержання на коксі захисної плівки), обробку коксу за даним способом здійснюють при низькій температурі. Температура обробки коксу $20-50$ °C обумовлена не вимогами цього способу, а умовами виробництва коксу. Обробку коксу розчином борату здійснюють після технологічних операцій підготовки коксу (вивантаження коксу з коксової печі, гасіння його, дроблення і сортування по класах). Після цього кокс з температурою $20-50$ °C направляють до бункера для відвантаження, де і здійснюють його обробку водним розчином тетраборату. За цим способом обробки коксу захисний шар коксу з розплавленого борату утворюється безпосередньо у доменній печі по мірі опускання шматків обробленого розчином борату коксу та підвищення температури (відповідно до технологічних умов доменної виплавки чавуну). Міцність коксу після реакції (CSR), отриманого за цим способом, підвищується у порівнянні з вихідним коксом на $11,1-26,5$ %. Показник CRI такого коксу знижується відповідно на $8,9-17,4$ %. Таке поліпшення показників (CSR і CRI) якості коксу дозволяє знизити витрату коксу в доменній печі. Довести це можливо на наступному прикладі. Після

вивантаження з коксової печі, гасіння та сортування кусків доменного коксу, температура яких 20-50 °С, вони знаходяться у бункері для відвантаження, де їх обробляють розбризуванням 2-20%-го водного розчину борату: тетраборат натрію, тетраборат калію, тетраборат кальцію. Водний розчин тетраборату необхідної концентрації для обробки коксу готують простим змішуванням розрахованих маси тетраборату та об'єму води в технологічній ємності. Для обробки застосовують такий об'єм приготованого розчину, щоб кількість сухого тетраборату в коксі відповідала 0,05-0,50 % (мас.) у перерахунку на кокс. Розчин тетраборату натрію на поверхню кусків коксу наносять шляхом розбризування розрахованої кількості розчину через форсунки з використанням насосу. Конкретні приклади реалізації способу. Спосіб обробки коксу, що розглядається, було випробувано на зразках коксу з Макіївського коксохімічного заводу. Для обробки коксу готували водний розчин тетраборату натрію необхідної концентрації. На поверхню кусків коксу наносили розраховану кількість розчину шляхом розбризування через форсунки. Визначення якісних показників коксу CSR та CRI виконували згідно зі стандартом ASTM D5341-99. Обробці піддавали зразки доменного коксу з такими показниками якості: проба № 1 CSR = 42,3 %, CRI = 38,3 %; проба № 2 -CSR = 53,9 %, CRI = 29,8 %. У таблиці 2.5 представлені результати дослідження зразків коксу проби № 1 з визначенням показників CSR і CRI: необроблений кокс (приклад 1), дослідні зразки коксу (приклади 2 та 3). Зразок за прикладом 2 - кокс, оброблений розчином тетраборату натрію з розрахунку 25 л/т 2 %-го водного розчину. Зразок за прикладом 3 - кокс, оброблений розчином тетраборату натрію з розрахунку 25 л/т 20 %-го розчину тетраборату натрію.

Таблиця 2.5

**Вплив способу обробки коксу (проба №1) тетраборатом натрію на його
якісні показники CSR і CRI**

Приклади, № п/п	Досліджувана проба коксу	Кількість тетраборату натрію, застосована для обробки, % (мас.) на 1 т коксу	Показники якості коксу	
			CSR	CRI
1	Вихідний кокс (проба № 1)	-	42,3	38,3
2	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату натрію з ПАР	0,05	47,0	34,9
3		0,50	53,5	31,6
4	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату натрію без ПАР	0,05	43,0	37,4
5		0,50	44,5	36,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Зразки 4 і 5 (приклади 4 та 5) - це кокс, оброблений такою ж кількістю - 0,05 % і 0,50 % . У таблиці 2.6 представлені результати досліджень зразків коксу проби № 2 - необроблений кокс (приклад 6), дослідні зразки (приклади 7 та 8) коксу, оброблені розчинами тетраборату натрію в тій же кількості, що і в попередніх прикладах 2 та 3, а також зразки (приклади 9 та 10) коксу, оброблені розпилюванням сухого тетраборату натрію. Дослідні зразки проби №2 за прикладами 11 та 12 оброблені розчинами тетраборату калію в тій же кількості, що і в попередніх прикладах 7 та 8 з тетраборатом натрію. Зразки за прикладами 13 і 14 оброблені розчинами тетраборату кальцію за аналогічних умов.

З даних таблиці 2.6 випливає, що обробка розчином тетраборату натрію доменного коксу (проба №2), який має вищу порівняно з пробєю №1 вихідну міцність після реакції CSR = 53,9 % та нижчий індекс реактивності CRI = 58 29,8 %, трохи менше - на 6,8-15 % (відн.) підвищує CSR і на 8,9-17,4 % (відн.) знижує показник CRI.

Таблиця 2.6

Вплив способу обробки коксу (проба №2) різними тетраборатами на його якісні показники CSR і CRI

Приклади, № п/п	Досліджувана проба коксу	Кількість тетраборату натрію, застосована для обробки, % (мас.) на 1 т коксу	Показники якості коксу	
			CSR	CRI
6	Вихідний кокс (проба № 2)	-	53,9	29,8
7	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату натрію з ПАР	0,05	57,6	27,2
8		0,50	62,0	24,9
9	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату натрію за способом без ПАР	0,05	54,6	29,0
10		0,50	55,5	28,0
11	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату калію з ПАР	0,05	57,0	27,7
12		0,50	61,5	25,0
13	Вихідний кокс, оброблений водним розчином тетраборату кальцію з ПАР	0,05	56,0	28,0
14		0,50	58,5	27,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

При обробці коксу (проба №2) сухою сумішшю показник CSR збільшується на 1,3-3,0 % (відн.), а показник CRI зменшується на 2,7-6,0 % (відн.) у порівнянні з показниками CSR і CRI вихідного коксу. Результати досліджень, наведені в таблиці 2.6 за прикладами 11-14, показують високу ефективність обробки коксу не лише солями натрію, а і тетраборатами калію і кальцію.

Як видно з даних таблиці 2.5, обробка розчином тетраборату натрію доменного коксу (проба № 1), який має низьку міцність після реакції CSR = 42,3 % і високий індекс реактивності CRI= 38,3 %, сприяє значному підвищенню на 11,1-26,5 % (відн.) показника CSR і зниженню CRI на 8,9-17,4% (відн.) у порівнянні з вихідним коксом. При обробці того ж коксу сухою сумішшю, показники дещо нижчі. Незначно - на 1,7 - 5,2 % (відн.) підвищується показник CSR і на 2,4 - 4,4 % (відн.) знижується показник CRI у порівнянні з показниками CSR і CRI вихідного коксу.

Дані таблиці 2.7 показують, що при обробці коксу борною кислотою міцнісні показники коксу покращуються.

Таблиця 2.7

Вплив обробки доменного коксу розчином борної кислоти (H_3BO_3) і тетраборатом $Na_2B_4O_7$ на «холодну» міцність коксу

№ проби	Досліджувана речовина	Міцні характеристики коксу (копровий метод)			Міцність коксу, визначена по методу Грязнова, %
		Індекс міцності (П), Дж/дм ²	Опір подрібненню (Р), %	Стиранність (Ш), %	
1	Вихідний доменний кокс	72,2	60,5	27,2	71,6
2	Кокс, оброблений розчином H_3BO_3	75,9	62,8	26,4	76,2
3	Кокс, оброблений розчином $Na_2B_4O_7$	80,3	64,6	24,4	78,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Так індекс міцності збільшується на 1 %; показник опору подрібненню збільшується на 3,8 %, міцність по Грязнову - на 6,4 %, знижується стиранність коксу (визначали «холодну» міцність досліджуваних проб коксу стандартними методами (копровий метод і міцність коксу по Грязнову). Більш значно збільшуються міцнісні показники доменного коксу, обробленого розчином тетраборату натрію. Показник індексу міцності збільшується на 11,1 %; показник опору подрібненню збільшується на 6,7 %; міцність по Грязнову збільшується на 8,9 %, стиранність коксу знижується на 2,8 % [46]. Використовуючи способи позапічної обробки коксу, зокрема обробку коксу розчинами неорганічних сполук і інших сполук бору, можливо доводити якість доменного коксу до вимог Українських і міжнародних стандартів. Автори [16], оцінювали ступінь впливу на якість коксу обробки його водяними розчинами тетрабората й ПАР. Досліджувані проби № 1 і № 2 обробляли водяним розчином $Na_2B_4O_7$ без ПАР і з додаванням ПАР у кількості 0,1 і 0,2 %. Обробку проводили 7 %-ним розчином $Na_2B_4O_7$ з розрахунку 35 мл розчину на 1 кг коксу або 35 дм³/т.

Результати досліджень представлені в таблиці 2.8.

Було підтверджено, що обробка доменного коксу розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ з ПАР, сприяє поліпшенню показників CSR та CRI у порівнянні з вихідним коксом і коксом, обробленим розчином цього реагенту без ПАР. Більше істотне поліпшення показників CSR та CRI спостерігається в пробах коксу, оброблених розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, у якому розчинено 0,2 % ПАР марки «ДБ».

Таким чином, використання розчинів $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, у яких міститься більше 0,2 % ПАР, технологічно та економічно недоцільно [16].

Таблиця 2.8

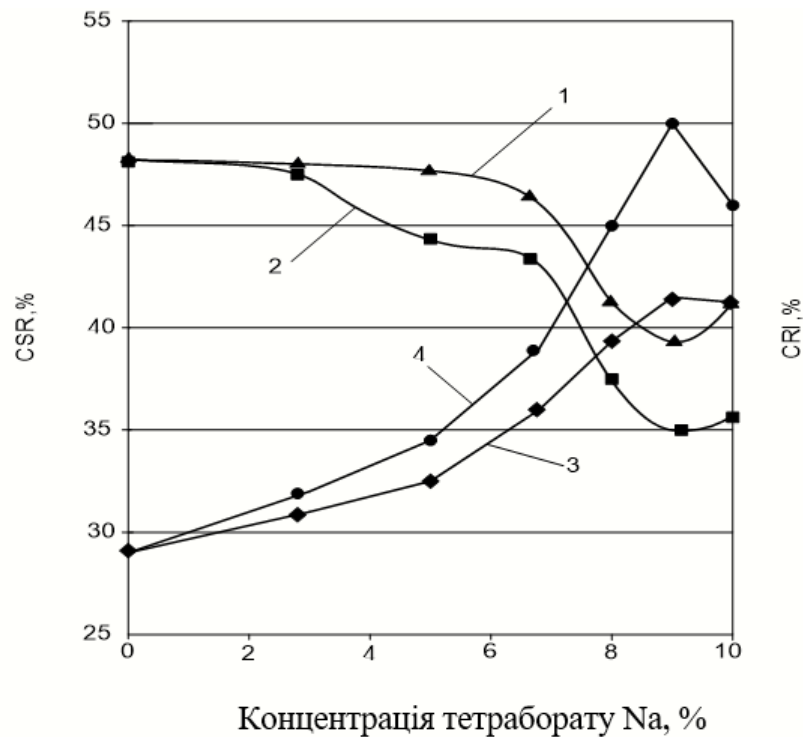
**Вплив обробки коксу розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, на значення показників
CSR та CRI**

№ п/п	Досліджуван-ний кокс	Концентрація розчину, %	Марка ПАР	Концен-трація ПАР, %	Кількість розчину, використувано-го для обробки коксу, л/т	Показники якості коксу, %	
						CRI	CSR
1	Проба № 1	Без обробки	-	-	-	48,0	29,1
2	Проба № 1	7,0	-	-	35,0	45,0	35,8
3	Проба № 1	7,0	ДБ	0,1	35,0	44,0	36,7
4	Проба № 1	7,0	ДБ	0,2	35,0	42,5	38,0
5	Проба № 1	7,0	ОП-10	0,2	35,0	44,0	36,5
6	Проба № 2	Без обробки	-	-	35,0	36,8	47,1
7	Проба № 2	7,0	-	-	35,0	31,0	56,5
8	Проба № 2	7,0	ДБ	0,2	35,0	28,2	58,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Визначено залежність значення CSR коксу від концентрації розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. На рисунку 2.1 видно, що більше високим показником CSR володіють проби коксу, оброблені розчином, що містять ПАР в діапазоні концентрацій 6-9 % і становить 3-8 % [16]. При обробці коксу розчинами тетраборату з концентрацією менше 6 % ця різниця становить 2-2,5 %. Різниця в змінах показника CSR коксу при обробці його розчином тетраборату без ПАР і утримуючої ПАР становить 1-4 %.

Максимальна величина показника CSR (50 %) спостерігається при обробці коксу (проба № 1) 9,0 %-ним розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, у якому міститься 0,2 % ПАР марки «ДБ». При обробці коксу 9 %-ним розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ без ПАР «гаряча» міцність становить 42 %. При цьому показник CRI коксу знижується з 48 до 39 % при його обробці розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ без ПАР і до 35 % при обробці розчином, що містить тетраборат і ПАР. Дані рисунка показують, що при обробці доменного коксу розчином, що містить тетраборат і ПАР з розрахунку 35 дм^3 розчину на 1 т коксу, оптимальною концентрацією є 9 %-ний розчин $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і 0,2 % ПАР, тобто витрата $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (у перерахуванні на безводний стан) на 1 т коксу складає 3,15 кг і ПАР - 0,07 кг.



- 1 - крива зміни CRI коксу, обробленого розчином тетрабората Na без ПАР;
- 2 - крива зміни CRI коксу, обробленого розчином тетрабората Na з ПАР;
- 3 - крива зміни CSR коксу, обробленого розчином тетрабората Na без ПАР;
- 4 - крива зміни CSR коксу, обробленого розчином тетрабората Na з ПАР

Рис. 2.1. Залежність зміни показників CSR та CRI коксу від концентрації розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ у якому розчинено 0,2 % ПАР марки «ДБ»

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Якісні показники CSR та CRI коксу також залежать від ступеня покриття його поверхні розчином - кількість розчину для обробки коксу має бути такою, щоб максимально повно змочити його поверхню. У таблиці 2.9 наведені результати досліджень. Для обробки проб використовували різні кількості розчину, що містять однакову кількість $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і ПАР. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ розчиняли в об'ємі розчину з розрахунку 3,15 кг на 1 т коксу, а ПАР - 0,09 кг/т.

Таблиця 2.9

Вплив обробки коксу розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і ПАР, використаних для післяпичної обробки коксу, на значення показників CSR та CRI

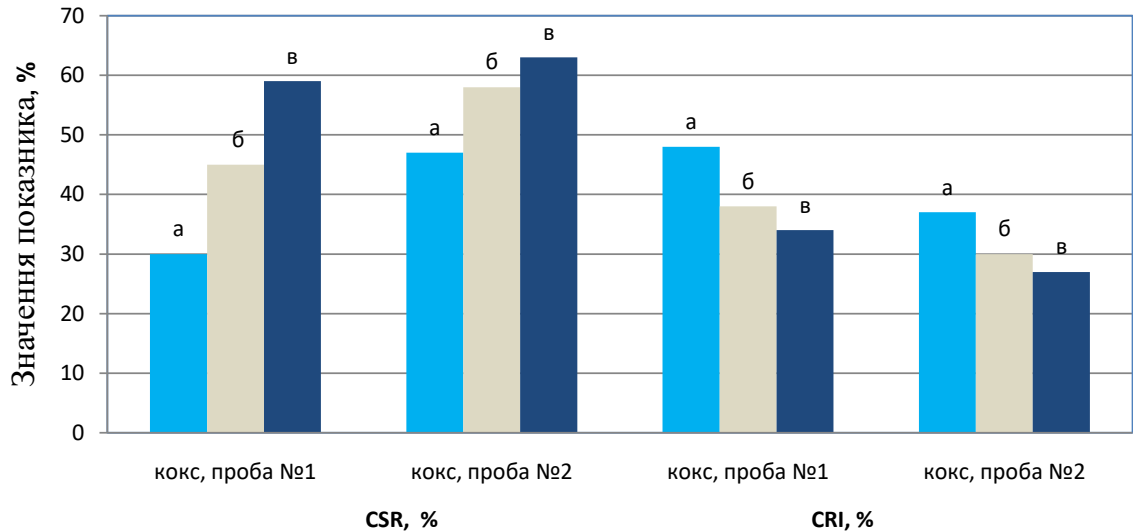
№ п/п	Досліджуваний кокс	Кількість розчину, %	Кількість $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ в використовуваном розчині, кг	Кількість ПАР в використовуваном розчині, %	Показники якості коксу, %	
					CRI	CSR
1	Проба № 1	25,0	3,15	0,05	48,0	29,1
2	Проба № 1	35,0	3,15	0,07	45,0	35,8
3	Проба № 1	45,0	3,15	0,09	44,0	36,7
4	Проба № 1	55,0	3,15	0,11	42,5	38,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

На підставі результатів, наведених у таблиці 2.9, можна зробити висновок, що оптимальна кількість розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, що містить ПАР, для змочування поверхні коксу становить 45 дм³ на 1 т коксу. При цьому «гаряча» міцність коксу (проба № 1) підвищується до 53,7 %, а індекс його реакційної здатності знижується до 33,8 % [16].

Таким чином, для післяпичної обробки 1 т доменного коксу досить використовувати 45 дм³ 7 %-ного розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, у якому розчинено 0,2 % ПАР марки «ДБ». Для готування такої кількості розчину буде потрібно 3,15 кг $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (у перерахуванні на безводний стан) і 0,09 кг ПАР марки «ДБ». На

рисунку 2.2 наведені якісні характеристики (CSR і CRI) досліджуваних проб (№ 1 і 2) доменного коксу, а також коксу, обробленого розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ без добавки ПАР і з додавання ПАР марки «ДБ».



а - вихідний кокс; б - кокс оброблений розчином тетрабората Na; в - кокс оброблений розчином тетрабората Na з ПАР

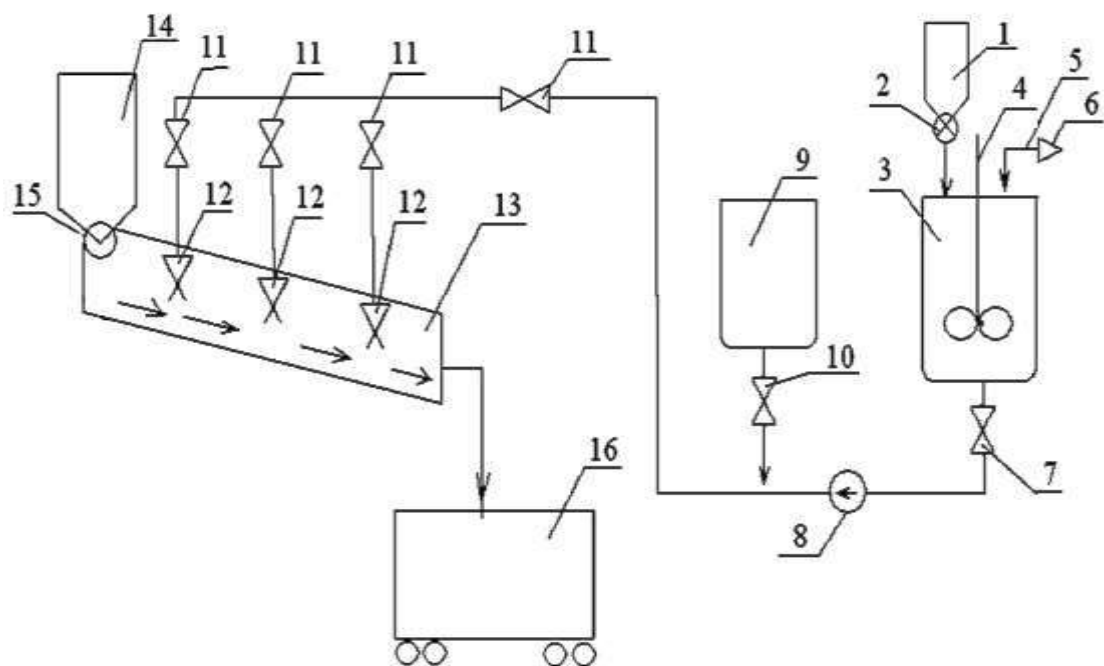
Рис.2.2. Діаграма зміни якісних показників CSR та CRI доменного коксу у результаті його післяпечної обробки водяним розчином

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Обробку проводили з розрахунку 45 дм^3 7 %-ного розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і 0,2 % «ДБ» на 1 т коксу. З діаграми видно, що обробка доменного коксу проби № 1 розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ з добавкою «ДБ» значно підвищує (на 23 %) «гарячу» міцність і менш істотно (на 14 %) знижує індекс реакційності коксу. Поліпшення цих показників у порівнянні з коксом, обробленим розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ без ПАР становить: CSR- 9,0 % і CRI - 3,5 %. Обробка коксу (проба № 2) з більш високими початковими показниками якості збільшує CSR на 16 % і знижує CRI на 10 %. Різниця у величині цих показників для коксу, обробленого розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ з додаванням і без додавання ПАР, становить 5 % і 3 %.

Установлено, що при введенні в розчин тетраборату ПАР більш ефективно використовується потенціал післяпичної обробки коксу.

На підставі виконаного дослідження даній роботі запропоновано спосіб поліпшення якісних показників доменного коксу шляхом розбризкування на шматки доменного коксу при температурі 20-50 °С 2-20 %-ного водного розчину тетраборату, в об'ємі 0,05-0,50 % (мас.) у перерахунку на кокс. Спосіб пропонується реалізовувати наступним чином. Згідно технологічній схемі установки для нанесення на кокс захисного покриття (рис. 2.3), кристалогідрати тетраборату натрію з бункера 1 за допомогою живильника 2 дозуються в апарат 3 з мішалкою 4, де відбувається їх розчинення у воді, яка подається трубопроводом 5 через регулюючу засувку 6.



1 – бункер; 2 – живильник; 3 – апарат; 4 – мішалка; 5 – трубопровод; 6 – регулююча засувка; 7, 10 – дозатор; 8 – насос; 9 – збірник; 11 – регулюючі засувки; 12 – форсунки; 13 – жолоб; 14 – бункер; 15 - розвантажувальний пристрій; 16 - залізничні напіввагони

Рис. 2.3. Технологічна схема установки для нанесення на кокс захисного покриття

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Розчин тетраборату через дозатор 7 насосом 8 подається на обробку коксу. Для поліпшення змочуваності коксу у розчин із збірника 9 через дозатор 10 додається поверхнево-активна речовина. Розчин тетраборату з добавкою ПАР через систему регулюючих засувок 11 поступає на форсунки 12, через які зрошується кокс, що відвантажується по жолобу 13 з бункера 14 через розвантажувальний пристрій 15 у залізничні на- піввагони 16. Разом з розчином тетраборату до коксу вноситься додаткова кількість води. Тому технологія мокрого гасіння повинна забезпечувати можливість стабілізації вологості коксу до його обробки реагентами на рівні 3,5-4,0 %.

Використання запропонованого способу дозволить:

- підвищити міцність коксу після реакції (CSR) на 10-20 % (відн.);
- знизити індекс реакційності (CRI) на 6,5-13 % (відн.);
- підвищити механічну міцність коксу та знизити його стиранність;
- підвищити економічність процесу за рахунок спрощення стадії обробки коксу неорганічною добавкою, що не вимагає високих температур для одержання захисної плівки;
- підвищити економічність процесу виплавки чавуну за рахунок використання більш якісного коксу за показниками CSR та CRI, що дозволить більш істотно знизити витрату коксу. Відомо [27], що при збільшенні CSR на 1 % витрати коксу зменшуються на 0,2 %, а продуктивність печі збільшується на 0,44 %; при зменшенні CRI на 1 % витрати коксу зменшуються на 0,4 %, а продуктивність збільшується на 0,6 %.

Таким чином, обробка коксу водними розчинами боратів дозволить одержувати кокс, що відповідає міжнародним стандартам за якісними характеристиками $CSR > 50\%$ та $CRI < 30\%$ з менш якісних коксів і відповідно розширити сировинну базу коксування.

Золотарев І.В. та інші провели серію дослідів стосовно поліпшення якості коксу різного походження за допомогою його післяпічної обробки розчинами боратів лужних металів із застосуванням (або без) поверхнево-активних речовин (ПАР) [17]. В основу розробки покладено ідею обробки доменного коксу неорга-

нічними речовинами, здатними за високих температур плавитися без розкладання і випаровування. Розтікаючись поверхнею коксу, а також проникаючи в пори і тріщини, ці речовини мають бути здатними утворювати «захисний шар», стійкий до дії окисних газів (O_2 , CO_2 та ін.) за температур > 1100 °C. «Захисний шар», що утворюється на поверхні куска коксу, повинен проявляти як стійкість до окислювальних газів, так і перешкоджати вільному їхньому проникненню всередину куска коксу, тим самим знижуючи можливість протікання реакцій між речовиною коксу і окислювальними газами. Це запобіжить передчасному руйнуванню структури коксу і відповідно підвищить його гарячу міцність (CSR). Зрештою, використання такого коксу в доменній печі дасть змогу використовувати під час виплавки чавуну значні кількості ПВП, розв'язувати інші техніко-економічні задачі, керуючи при цьому якістю чавуну і сталі.

Під час вибору неорганічної речовини для обробки коксу важливою вимогою є відсутність негативного впливу використовуваної речовини на якість чавуну і сталі, а також на навколишнє середовище. Тетраборат натрію – це біла кристалічна речовина, зневоднюється при 350 °C, плавиться при 742 °C, кипить при 1575 °C. При охолодженні розплав утворює аморфне скло зі щільністю 2,36 г/см³ [17]. Позапічну обробку доменного коксу водними розчинами сполук бору здійснювали таким чином: готували розчин використовуваної речовини заданої концентрації, необхідну кількість розчину наносили на гарячу (60-80 °C) пробу коксу шляхом його розбризкування через форсунку. Для обробки використовували зразки доменного коксу, отримані на Макіївському КХЗ (ЗАТ «Макіївкокс»). Індекс реактивності (CRI) і гарячу міцність (CSR) коксу визначали відповідно до міжнародного стандарту ISO 18894:2006 [17].

У таблиці 2.10 наведено результати досліджень впливу обробки доменного коксу водними розчинами тетраборату натрію та борної кислоти на його якісні показники.

Таблиця 2.10

**Вплив обробки доменного коксу водними розчинами $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і H_3BO_3
на його якісні показники CSR і CRI**

Досліджувана речовина	Концентрація розчину, ваг. %	Витрата розчину з розрахунку л/т коксу	Витрата сухої речовини, кг/т коксу	CSR, %	CRI, %
Вихідний кокс	-	-	-	42,3	38,3
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	2,5	25	0,625	48,0	34,1
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	3,5	25	0,875	49,0	33,5
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	4,5	25	1,125	49,9	33,1
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	5,5	25	1,375	51,6	32,1
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	6,5	25	1,625	53,0	31,5
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	7,5	25	1,875	53,9	30,4
Оброблений кокс розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	8,5	25	2,125	53,0	32,9
Оброблений кокс розчином H_3BO_3	6,5	25	1,625	47,3	34,9

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [17]

З результатів, наведених у таблиці [17], випливає, що під час обробки коксу розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ з розрахунку 25 л розчину на 1т коксу оптимальним є 6,5-7,5 %-вий водний розчин $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, тобто, витрата реагенту на 1т коксу становитиме 1,625-1,875 кг (у перерахунку на сухий стан). При цьому CSR коксу підвищується на 11,7 абс. % або на 27,7 відн. %, а CRI знижується на 8,0 абс. % або на 20,9 відн. % порівняно з CSR вихідного коксу. При обробці досліджуваної проби 6,5 %-ним розчином H_3BO_3 якісні показники CSR і CRI також покращилися, але менш істотно, ніж при.

2.2.3 Спосіб обробки кам'яновугільного коксу, що дає змогу регулювати його якість

Мета запропонованого способу - розробка способу післяпичної обробки коксу та перевірка його ефективності з точки зору впливу на якість коксу. Під час розроблення способу враховували той факт, що зовнішня поверхня кусків коксу становить лише близько 2 % від частки внутрішньої, що бере участь в окисно-відновних процесах. Отже, ефективність обробки коксохімічними реагентами буде вищою, якщо зачіпати доступну внутрішню поверхню коксу. За розробленим способом кокс поміщають у ємність із водним розчином певного модифікуючого реагенту і створюють розрідження, після чого тиск у ємності вирівнюють до атмосферного. У результаті такої обробки кокс вбирає реагент у доступні пори та тріщини. Також, для підвищення ефективності обробки коксу реагентами, за способом можна здійснювати перемішування вмісту ємності під час розрідження. Після обробки кокс вивантажується з ємності і піддається сушінню. Залежно від величини розрідження, часу обробки коксу, застосування перемішування і використання відповідних реагентів, можна регулювати ефективність обробки коксу і тим самим впливати на його якість.

Були виконані дослідження з обробки коксу розробленим способом і визначена їх реакційна здатність. Як реагенти використовувалися: 7 %-ний водний розчин тетраборату натрію; 5 %-ний розчин вапна і 50 %-ний розчин червоного шламу. Крупність коксу становила 7-6 мм. У ємності, в якій містився дифузійний реагент і кокс, створювали розрідження - 90 кПа протягом 10 хв. Після цього давався доступ повітря, і тиск у ємності порівнювали з атмосферним. Оброблені кокси зважували, висушували і знову зважували для визначення приросту маси на сухий стан. За приростом маси коксу після обробки різними реагентами можна стверджувати, що запропонований спосіб дає змогу ефективно обробляти кокс (табл. 2.10). Необхідно зазначити, що приріст маси коксів при обробці їх способом зрошення становить максимум 4 %. Для вивчення впливу розробленого способу обробки на властивості коксу визначали його реакційну

здатність щодо кисню повітря (горючість). Сутність методу полягає у спалюванні наважки коксу у вертикальній циліндричній печі за постійної температури 500 °С у середовищі кисню повітря та реєстрації втрати маси за певний проміжок часу. За результатами визначення горючості необробленого та оброблених коксів був побудований графік залежності втрати маси коксу від часу (рис. 2.4).

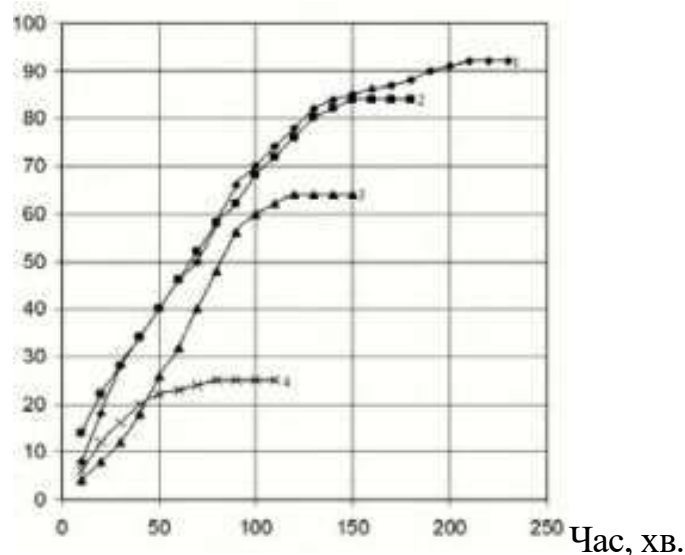
Таблиця 2.10

Приріст маси коксу після обробки різними реагентами

Проба коксу	Приріст маси коксу після обробки при атмосферному тиску, %	Приріст маси коксу після обробки при 90 кПа %	Приріст маси коксу на сухий стан, %
Кокс, оброблений водою	3,0	25,0	-
Кокс, оброблений вапном	3,3	32,3	15,1
Кокс, оброблений червоним шламом	3,5	74,1	38,1
Кокс, оброблений бурою	3,8	91,2	28,4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Втрата маси коксу



1 - вихідний кокс; 2 - кокс, оброблений водним розчином вапна; 3 - кокс, оброблений червоним шламом; 4 - кокс, оброблений бурою

Рис. 2.4. Графік залежності втрати маси коксу від часу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

У всіх випадках втрата маси обробленого коксу знижується. Горючість коксу, обробленого вапном, майже схожа з кривою вихідного коксу, особливо в першій частині досліджу. Загалом, у випадку з коксами, обробленими вапном і червоним шламом, отриманий хід кривих пояснюється тим, що замість вуглецю коксу в досліджуваних пробах, по суті, міститься певна кількість неорганічних речовин, відповідно, 12 % і 38 %. Під час обробки коксу бурою втрата маси становила лише 25 % від узятій наважки.

Такий результат свідчить про утворення на поверхні коксу, в його порах і тріщинах стійкого за даної температури «захисного шару» солі, який фактично зупиняє газифікацію вуглецю коксу киснем повітря.

При використанні пропонованого способу потенціал післяпічної обробки коксу використовується більш ефективно порівняно з відомими способами.

Результати досліджень дають змогу говорити про високу ефективність розробленого способу обробки коксу, який залежно від використання відповідних реагентів, створення величини розрідження, тривалості обробки та застосування перемішування, дає змогу спрямовано впливати на властивості коксу. Спосіб можна застосовувати як на стадії коксохімічного виробництва, після сортування коксу, так і безпосередньо перед використанням його у відповідних процесах.

Таким чином, авторами показано, що підвищити якість доменного коксу за показниками CRI і CSR можна за допомогою післяпічної його обробки водними розчинами солей – тетраборатів металів з добавкою ПАР. За такої обробки коксу можна досягти збільшення гарячої міцності на 10-15 % і зниження індексу реактивності на 5-10 %. Впровадження технології обробки коксу тетраборатами на коксохімічних заводах України дасть змогу одержувати доменний кокс, який відповідає міжнародним стандартам якості за показниками CSR і CRI, а також забезпечить додатковий економічний ефект за рахунок зниження витрат коксу під час виплавки одиниці металопродукції.

2.3 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавних, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань.

2.3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Коксовий цех призначений для вироблення коксу і супутніх хімічних продуктів коксування, до складу якого входять: коксові батареї з допоміжними й обслуговуючими пристроями і спорудженнями; вугільні башти; коксові машини; гасильні башти для мокрого гасіння коксу з насосними і відстійниками; установки сухого гасіння коксу з циркулюючими газами (УСГК) із пристроями для прийому, гасіння і подачі погашеного коксу на сортування, котлами-утилізаторами з допоміжним обладнанням і комунікаціями в межах установки; коксові рампи з пристроями для прийому погашеного коксу і подачі коксу на сортування; коксосортувалка з пристроями для розсіву коксу і подачі його на прийомні пристрої доменного цеху й у залізничні вагони з бункерами для проміжного накопичення; установки для безпилової видачі коксу й очищення газів, що відсмоктуються; газоскидні пристрої; засоби аспірації і прибирання робочих приміщень [17]. Працюючі на коксових печах піддаються впливу високої температури, теплового випромінювання, шкідливих газів і парів, а

також вугільного і коксового пилю. Висока температура на робочих місцях є наслідком виділення великої кількості тепла гарячими поверхнями печей.

На верху печей джерелами виділення тепла є: цегельна кладка, кришки і рами завантажувальних люків, стояки і газозбірники. Середня температура повітря на робочому місті люкового при температурі зовнішнього повітря $+17^{\circ}\text{C}$ – 24°C , швидкості руху повітря 3 м/сек досягає $+56-61^{\circ}\text{C}$, а при температурі $+2-5^{\circ}\text{C}$ і швидкості 2 м/сек досягає $+24-31^{\circ}\text{C}$. Висока температура і теплове випромінювання створюють важкі умови роботи, призводять до зниження продуктивності праці, підвищення стомлюваності, викликають посилене потовиділення, порушення водно-сольового обміну, підвищення температури тіла і можуть з'явитися причиною різних захворювань. Шкідливий вплив на організм робітника має забруднене повітря газами, парами і коксовим пилом. Так в м^3 прямого коксового газу, який виділяється в процесі коксування вугілля, утримується, г: водяна пара 250-450; смоляна пара 80-120; бензолних вуглеводнів 30-40; аміаку 8-13; сірководню 6-30; ціаністих з'єднань 0,5-1,5. Крім того в газі містяться легкі піридинові основи, окис вуглецю, нафталін і інші з'єднання.

До коксових цехів джерелами проникнення в повітря газів можуть бути:
на верху печей - завантажувальні люки, розрівнювальні лючки⁴
на рампі - недостатньо погашений кокс, у тунелях і контовочних приміщеннях - нещільності в газопроводах і газовій арматурах.

У коксосортувальних приміщеннях з недостатньо відпареного на рампі коксу виділяються пари аміаку, сірчистого газу й фенолів, а також водяна пара (вологість повітря не рідко досягає 70 %), що шкідливо впливають на працюючих. При постійній дії шуму на організм людини приводить до порушення функцій слуху, погіршує самопочуття та працездатність. Шум, виникає при роботі виробничого устаткування.

Апарати у відділені працюють під тиском, які при порушенні правил технічної експлуатації призводять до розриву стінок апаратів, трубопроводів і тим самим можуть привести навіть до масового травматизму. Не задовільне

освітлення може служити причиною травматизму і негативно впливати на зір робітників і знижувати продуктивність праці.

2.3.2 Захода щодо зниження й усунення шкідливих і небезпечних факторів

Заходи щодо боротьби з впливом високої температури, теплової радіації й забрудненням повітря на самих коксових печах і за їхніми межами пропонуються наступними [18]:

- це механізація трудомістких процесів;
- поліпшення ізоляції нагрітих поверхонь;
- уловлювання газів і пари, які виділяються при завантаженні печей і гасінні коксу, герметизація устаткування й ін.

Зниження температури зовнішніх поверхонь досягаємо завдяки посиленню ізоляції, кладки, перекриття коксових батарей. Для цього застосовуємо два ряди менш теплопровідного легковагового шамоту, установку спеціальних реєстрів для перекриття оглядових шахт опалювальних каналів. Температуру в тунелях коксових печей знижуємо завдяки використанню природного провітрювання (аерації) через фрамуги, що відкриваються у вікнах. Для боротьби з забрудненням повітря в районі коксових батарей використовуємо бездимне завантаження печей, впроваджуємо сухе гасіння коксу, застосовуємо самоущільнюючі кришки завантажувальних люків і стояків. Ефективним засобом зменшення загазованості повітря є ретельне ущільнення дверей, грубних камер, планувальних лючків, місць з'єднань газовідвідних стояків з грубною камери газозбірника, газопроводів і газової арматури у тунелях і контовочних приміщеннях. Вугілля, яке залишилося навколо люка після завантаження печі шихтою, необхідно забирати тому що воно загоряється й забруднює повітря шкідливими газами. Повітряні душі стаціонарного типу встановлюємо на коксовиштовхувачах. Вони подають свіже повітря на робоче місце дверьового й до дверезйомної машини. Потік повітря, що створюється повітряними душами,

має заздалегідь задані параметри (швидкість, температуру, а іноді й вологість). На верху печей і на безбатарейних обслуговуючих майданчиках для відпочинку робітників встановлюємо kabіни захищені від попадання в них пилу й газу. Свіже повітря подаємо у kabіну по вентиляційній трубі. На верху коксових печей, на обслуговуючих майданчиках у тунелях застосовуємо пересувні повітряні душі різних конструкцій (аератори). Для відновлення водно-сольового балансу робітників, що порушується в процесі роботи, робітники коксових цехів забезпечуємо підсоленою газованою водою з розрахунку 4-5 л у зміну. У літній період вода повинна бути охолоджена й містити 0,5 % повареної солі.

2.3.3 Пожежна безпека

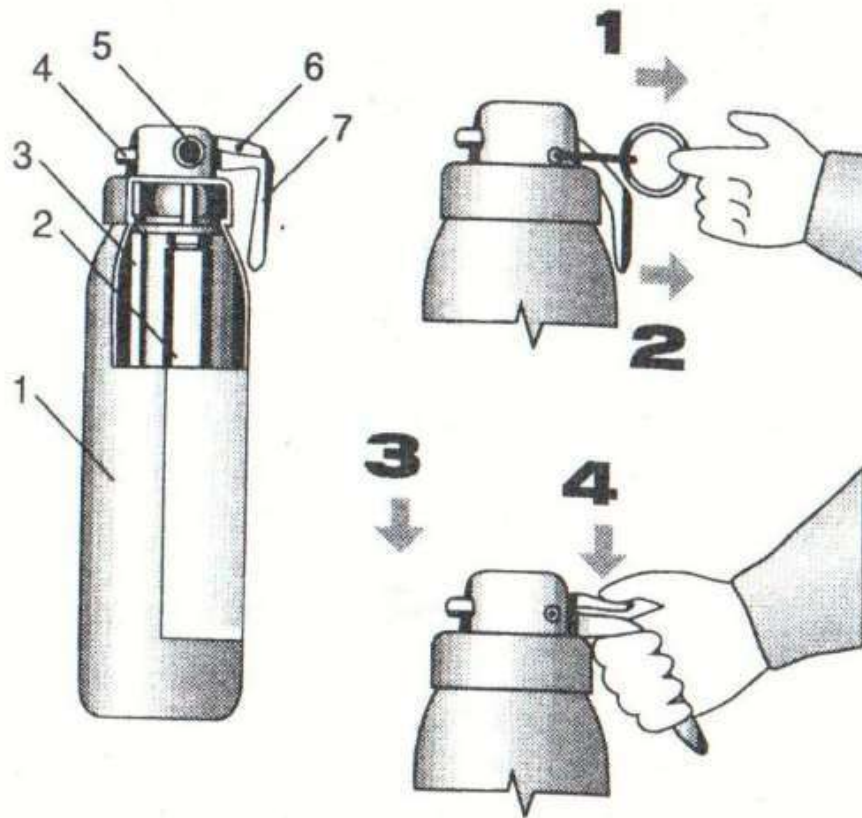
Виробничий процес коксового цеху по вибухопожежній і пожежній небезпеці, згідно СНП 2.09.02 - 85 відноситься до категорії «А» [19]. Пожежна небезпека коксових цехів обумовлюється властивостями палих газів (коковий, доменний), твердих речовин (кам'яновугільна шихта, кокс).

Коксовий газ отруйний. Отруйно діє на організм людини при концентрації 1,4-1,7 %. При неправильному устрої газорозподільних приладів можлива загазованість території коксових цехів, а при наявності джерел запалювання - спалах і швидке поширення вогню по території цеху.

Характерними джерелами запалювання є: відкрите полум'я форсунок; іскри при проведенні газозварювальних ремонтних робіт; кокс, нагрітий до температури вище температури самоzapалювання; розряди статичної й атмосферної електрики; іскри електричного походження. Основною умовою попередження пожеж, вибухів і отруєнь є герметизація всіх апаратів, газопроводів, газової арматури. Виявлені нещільності повинні бути вчасно ліквідовані, причому підтягування болтів різної апаратури здійснюється інструментом, що не дає іскри при ударі по сталі. Найменша концентрація газу або пару горючої рідини в повітрі, при якому можливий вибух, називається

нижньою концентраційною межею вибуховості, а найбільша концентрація пари у повітрі, при якій можливий вибух, називається верхньою концентраційною межею вибуховості.

Мірою захисту від статичної електрики є заземлення, від блискавок - громовідвід. При грозі забороняється проводити продувку устаткування газом навіть із парю або азотом. В арсеналі пожежогасіння є великий набір засобів і способів гасіння пожеж. Найпоширенішими індивідуальними засобами пожежогасіння є пінні (рис. 2.1), вуглекислотні й порошкові вогнегасники. Для припинення горіння необхідно створити у вогнищі пожежі необхідні умови й підтримувати їх доти, доки горіння не припиниться.



1 - корпус (балон з вогнегасним порошком); 2 - балон з робочим газом;
3 - сифонна трубка; 4 - насадка-розпилювач; 5 - запобіжна чека; 6 - клавіша
(для керування подаванням порошку); 7 - ручка

Рис. 2.5. Схема пінного вогнегасника ОП-5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Такими умовами є охолодження палаючої речовини до температури більш низкою, чим температура запалення речовини, і ізоляція речовини від кисню повітря. Найпоширенішим засобом пожежогасіння є вода. Ефективним засобом пожежогасіння є водяна пара. Вона ефективна у приміщеннях обсягом не більше 500 м³. При вмісті пари в атмосфері більше 35% горіння припиняється. Для гасіння також застосовують пісок, мокру глину, азбестові й сукняні накидки - ковдри та ін. Накидки найчастіше використовують для гасіння людини, на якій зайнявся одяг, причому в жодному разі не можна допускати, щоб людина бігла, тому що полум'я роздувається й площа вогнища збільшується.

2.3 Висновки до основної частини

1. Нанесення емульсій на водній основі в якості захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння дозволяє використати вакуумно-капілярний ефект матеріалу коксу для поліпшення його якості, виключити паро- і пилоутворення, перезволоження коксу та нанести точну розраховану кількість покриття. Внаслідок цього міцність коксу по показнику M_{25} підвищилась на 1,2 % і знизилась стиранисть коксу по показнику на 0,9 %, зольність коксу не підвищилась.

2. Застосування розплаву пластмас для обробки поверхні коксу дозволяє збільшити міцність коксу при скиданні на 8,5 % і при стиранні на 0,5 %, знизити до мінімуму втрати коксу на шляху до споживача та поліпшити його ситовий склад; усунути пилоутворення з коксу при його перевантаженнях, що поліпшує умови праці в коксовому та металургійному виробництвах; підвищити відновний потенціал газової фази металургійних процесів і знизити калорійність газів, що відходять.

3. Технологія гасіння коксу за допомогою залізовмісних шламів дозволяє одержати більш стійкий до стирання кокс (середній показник M_{10} - 6,68 %) з найбільшою товщиною шламового покриття (середня величина 2,0 мм), скоротити скидання залізовмісних шламів у відвали й

шламонакопичувачі та запобігти забрудненню атмосфери й підземних вод. Крім того, конвертерні шлаки по своєму складу близькі до шихтових матеріалів доменної плавки, тому в процесі обробки поверхні коксу вони не тільки сприяють утворенню міцного покриття його поверхні, але й повертаються в доменний процес разом з коксом, не знижуючи його реакційної здатності й не порушуючи режиму доменної плавки.

4. Застосування захисного покриття коксу на основі рідкого скла дозволяє істотно поліпшити його якість, так окисність вуглецевого матеріалу в 60 атмосфері печі (до вступу в основну реакцію) та стираність коксу зменшуються в 1,4-1,5 рази.

5. Обробка коксу тетраборатом натрію дозволяє:

- підвищити міцність коксу після реакції (CSR) на 10-20 % (відн.);
- знизити індекс реактивності (CRI) на 6,5-13 % (відн.);
- підвищити економічність процесу за рахунок спрощення стадії обробки коксу неорганічною добавкою, що не вимагає високих температур для одержання захисної плівки;
- підвищити економічність процесу виплавки чавуну за рахунок використання більш якісного коксу за показниками CSR і CRI, що дозволить більш істотно знизити витрату коксу на 1 т чавуну та знизити собівартість. Обробка коксу водними розчинами боратів дозволить одержувати кокс, що відповідає міжнародним стандартам за якісними характеристиками CSR >55-70 % та CRI.

6. Відповідно до поставленої задачі роботи, розроблена технологія позапічної обробки коксу різними складами, призначена для впровадження на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Обробку коксу розчином тетраборату здійснюють після технологічних операцій підготовки коксу (вивантаження коксу з коксової печі, гасіння його, дроблення і сортування по марках). Кокс з температурою 20-50 °С направляють по транспортерній стрічці до бункера для відвантаження. На транспортерній стрічці спочатку здійснюють обробку коксу водним розчином тетраборату, а потім водним

розчином рідкого скла (20-м %). При цьому обробляються тільки поверхневі шари коксу (до глибини 1-2 мм), що дозволяє відмовитися від додаткової операції - сушіння коксу. Захисне покриття розподіляється рівномірно по поверхні кусків. Ця технологія дозволяє підвищити якість коксу по показниках CRI, M_{25} та M_{10} в умовах зниження спікливої частини вугільної шихти.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз результатів дослідження позапічної обробки коксу за допомогою коксортувалки можна зробити висновок, що клас >80 мм необхідно піддавати механічній обробці, тому що кокс класу 80-25 мм у порівнянні з коксом класу >80 мм має більш постійні показники всіх фізико-хімічних властивостей. Кокс класу >80 мм відрізняється недостатньою готовністю, зниженою міцністю пористого тіла і речовини коксу, підвищеною реакційною здатністю та стираністю.

2. Дослідницькими доменними плавками встановлено, що відділення від загальної маси коксу класу >80 мм (12,5 %) і переведення доменної печі на кокс крупністю 80-25 мм приводить до зниження питомої витрати коксу в доменній плавці приблизно на 2,0 % і підвищення продуктивності печі на 3,5%. Кокс класу >80 мм, відсіяний від загальної товарної маси, треба або використати для інших споживачів, що одержують звичайний великий кокс, або піддавати механічній обробці.

3. При сухому гасінні кокс по всій масі має однаковий вміст вологи, який становить не більше 0,1-0,2%, що зменшує його кількість у доменному виробництві. У результаті механічної обробки коксу в процесі проходження його в шахті камери гасіння міцність коксу підвищується. Відбувається реалізація тріщин, зменшується вихід дріб'язку. Показник M_{25} збільшується на 6,1 %, M_{10} зменшується на 0,6 %. Завдяки цьому витрати коксу у доменному процесі знижуються на 3-5%.

4. Нанесення емульсій на водній основі в якості захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння дозволяє підвищити міцність коксу по показнику M_{25} на 1,2 % і знизити стираність коксу по показнику M_{10} на 0,9 %, при цьому зольність коксу не підвищується.

5. Застосування розплаву пластмас для обробки поверхні коксу дозволяє збільшити міцність коксу при скиданні на 8,5 % і при стиранні на

0,5 %, знизити до мінімуму втрати коксу на шляху до споживача та поліпшити його ситовий склад.

6. Технологія гасіння коксу за допомогою залізовмісних шламів дозволяє одержати більш стійкий до стирання кокс (середній показник M_{10} - 6,68 %) з найбільшою товщиною шламового покриття (середня величина 2,0 мм), скоротити скидання залізовмісних шламів у відвали й шламонакопичувачі та запобігти забрудненню атмосфери й підземних вод.

7. Застосування захисного покриття коксу на основі рідкого скла дозволяє істотно поліпшити його якість. Так окисність вуглецевого матеріалу в атмосфері печі (до вступу в основну реакцію) та стираність коксу зменшуються в 1,4-1,5 рази.

8. Обробка коксу водними розчинами боратів дозволить одержувати кокс, що відповідає міжнародним стандартам за якісними характеристиками $CSR >55-70$ % та $CRI <30-22$ %, і відповідно розширити сировинну базу коксування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мучник Д.А., Іванов Є.Б. Сортивання коксу: «Металургія», 1968. 296 с.
2. Шеремет В.А., Лялюк В.П., Отворин П.І. Підвищення якості коксу для доменної плавки шляхом збільшення насипної маси вугільної шихти. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2010. №1. С. 27-31.
3. Давидзон Р.І. Майстер установки сухого гасіння коксу. *Металургія*, 1980. С.11-16, 78-81, 104-123.
4. Зубілін І.Г., Рудика В.І. Отримання синтез - газів для виробництва екологічно чистих моторних палив: теорія і технологія. Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. В.Н. Каразіна. Видавничий центр, 2002. 315 с.
5. Аксєнин М.П., Крюков А.М., Величко С.А. Впровадження механічної обробки коксу в потоці на коксохімічних заводах України. *Кокс і хімія*. 1985. № 11. С. 21-23.
6. Мучник Д.А. Сортивання коксу за одночасної стабілізації та можливості поліпшення фізико-механічних властивостей до заданого значення. *Кокс і хімія*. 2010. №1. С. 27-33.
7. Спосіб нанесення захисного покриття на поверхню коксу сухого гасіння: а.с. №1106150. Кл. С10L0/02. Заявл. 11.02.82; №3411453/23-26; опубл. 15.02.83. Бюл. № 36.
8. Агроскін А.А. Насипна вага вугілля для коксування. М.: Видавництво АН. 1956. 176 с.
9. Спосіб обробки поверхні коксу пластичними масами: а.с. №1152968. Кл. С10L9/10. Заявл. 12.09.79; №2822342/23-26; опубл. 15.12 81. Бюл. № 46.
10. Спосіб гасіння коксу, що включає охолодження його водною суспензією з концентрацією залізовмісних шламів 80-250 г/л: А.с. №1160732. Кл. С10В39/04. заявл. 29.07.83; №3662018/23-26; опубл. 30.07.87. Бюл. №28.
11. Спосіб обробки поверхні коксу, що включає обробку його водною суспензією залізовмісних шламів, які подаються через форсунки на

- розпечений кокс: А.с. №1426997. Кл. С10В9/04. заявл. 06.03.85; №3864068/23-26; опубл. 30.09.88. Бюл. № 36.
12. Спосіб обробки коксу нанесенням на його поверхню захисного покриття на основі рідкого скла: А.с. №1106149. Кл. С10L9/00. Заявл. 03.05.82. № 3432282/23-26. Бюл. № 37.
13. Соловійов Г.Д., Шатоха І.З., Щеглов С.В. Вплив обробки коксу рідким склом на його фізико-механічні та хімічні властивості. *Коксохімія і металургійне паливо*. 1976. № 2. С. 44.
14. Европейский патент GB1423187, 1976-01-28, ISC SMELTING, МПК С10L9/10; С10L9/00.
15. Спосіб обробки доменного коксу. Патент №23560. Кл. С10L9/00. 2007. Бюл. №7.
16. Товаровський І.Г., Лялюк В.П. Еволюція доменної плавки. Д.: Паром, 2001. 424 с.
17. Золотарьов І.В., Тамко В.А., Шендрик Т.Г., Збиковський Є.І. Новий підхід до поліпшення якості доменного коксу. Збірник наукових статей *Сучасна наука*. 2010. №1 (3). С. 17-21.
18. Іллінський Д. Б. Охорона праці на підприємствах чорної металургії: «Металлуогія», 1979. 256 с.
19. Шеремет В. О., Каракаш О. І., Марунчак В. Ф. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: Навч. Посібник. Д.: ІМА-прес, 2003. 400 с.
20. Гольбрайт Ю. А. Техника безопасности при производстве кокса: «Металлургия», 1969. 88 с.
21. Вольфоський Г.М., Мироненко Л.І., Кауфман А.А. Газівник коксових печей: «Металургія», 1989. 190 с.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок
Мінкін Олександр Олександрович

Актор
Мінкін Олександр Олександрович Шмельцер К.О.

Ідентифікатор
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фраз для коефіцієнта подібності 2



11672

Кількість слів

85558

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових слотворень. Ці слотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Слотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	B	0
Інтервали	A	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	␣	0
Парафрази (SmartMarks)	a	95

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копію тексту

порядковий номер	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА (URL (НАЗВА БАЗИ))	кількість джерелних слів (фрагментів)
1	Дослідження впливу реакційної здатності, міцності та стиранності коксу на техніко-економічні показники доменної плавки.doc 12/9/2020 Крууу Rh National University (Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва)	132 1.13 %
2	Дослідження впливу реакційної здатності, міцності та стиранності коксу на техніко-економічні показники доменної плавки.doc 12/9/2020 Крууу Rh National University (Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва)	112 0.96 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача вищої освіти

Мінкіна Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна робота бакалавра

Тема кваліфікаційної роботи «Модифікація реакційної здатності коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»

Керівник кваліфікаційної роботи: к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Шмельцер К.О.	зарах	20.06.25		
2	Основна частина	Шмельцер К.О.	зарах	20.06.25		
3						
4						

Завідувач кафедри

(підпис)

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« 2 » червня 2025 р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ
 РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Здобувача вищої освіти Мінкіна Олександра Олександровича
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Модифікація реакційної здатності
 коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	65 стор.;
таблиць	14;
схем і рисунків	8;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	-.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра:

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці технології позапічної обробки коксу різними складами. Детально проаналізовані способи обробки коксу для підвищення якості коксу в умовах зниження частки спікливої частини вугільної шихти. Обґрунтовано застосування методу обробки коксу різними складами. Аналіз великої кількості літературних джерел та патентний пошук з питання, що досліджувалось.

Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху. Запропоновано технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

До недоліків кваліфікаційної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології. При дослідженні методу нанесення покриття на основі рідкого скла було би доцільним при випробуванні обробленого коксу визначити не тільки середню швидкість окислення коксу, а й показники його механічної міцності.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання,

Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки.

Здобувач Мінкін Олександр продемонстрував хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення. При виконанні роботи студент Мінкін О. показав відмінну загальну і спеціальну підготовку. Дипломна робота в цілому виконана самостійно, при цьому Мінкін Олександр проявив вміння працювати з технічною літературою та нормативно-технічною документацією. Прийняті в роботі рішення технічно обгрунтовані.

Графік виконання роботи дотримувався неухильно

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра _____

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 2 » червня 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Здобувача вищої освіти Мінкіна Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-21	
Тема кваліфікаційної роботи бакалавра	<u>Модифікація реакційної здатності коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»</u>
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра	<u>Модифікація реакційної здатності коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»</u>
Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра	<u>Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано на актуальну тему. Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці технології позапичної обробки коксу різними складами. Детально проаналізовані способи обробки коксу для підвищення якості коксу в умовах зниження частки спікливої частини вугільної шихти. Обґрунтовано застосування методу обробки різними складами. Аналіз великої кількості літературних джерел та патентний пошук з питання, що досліджувалось. Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху. Запропоновано технологію отримання коксу з низьким показником реакційної здатності.</u>
Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра	<u>До недоліків дипломної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.</u>
Рекомендації:	<u>Робота може бути рекомендована до захисту ЕК.</u>
Рецензент	<u>Корній Марина Віталівна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)
<u>К. І. П., доцент</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання)	<u>Корній</u> (підпис)

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

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

«Модифікація реакційної здатності коксу для доменної плавки шляхом обробки його неорганічними речовинами»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Мінкін Олександр Олександрович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 65 сторінка друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarizm.com».

Рівень оригінальності становить 7,80 % (КП 1)

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

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

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

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

Керівник підрозділу


 (підпис)

К. Шмельцер

Дата « » травня 2025 р.

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

Я, Мінкін Олександр Олександрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

Дата

Підпис



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

Я, Мінкін Олександр Олександрович здобувач IV курсу, групи ХТ-21 Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

01.05.2025



Мінкін О.О.