

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

Павлова Дмитра Валерійовича

на тему Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий К.Т.Н. _____ Шмельцер К.О.
керівник
(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

Від 12.06.2026 р. № 16

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис)
« ____ » _____ 20__ року
доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання ,
прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Павлова Дмитра Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками

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

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

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026р.

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: Особливості формування сировинної бази коксування КХВ ПАТ «АМКР» з урахуванням сучасних вимог доменної плавки. Класифікація домішок, які використовуються в якості компонентів вугільної шихти Основні аспекти застосування неспікливих добавок у виробництві коксу.

4.2 Основна частина: Розробка методу модифікації властивостей вугільних шихт та створення оптимальних умов експлуатації коксових печей шляхом добавки карбиду кремнію (α -SiC) та оксиду алюмінію (α -Al₂O₃). Обґрунтування дослідницьких рішень.

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 «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	17.06.2026	

Здобувач

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

[illegible]

					ННТІ. 161. КБР. ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Павлов Д.В.				Відомість кваліфікаційної бакалаврської роботи	Літ.		Лист	Лист
Керівник	Шмельцер К.О.					КРБ	Т	1	
Консульт.	Шмельцер К.О.					ННТІ ДУЕТ			
Н.контр.	Шмельцер К.О.					Каф. ХТІ			
Затв.	Шмельцер К.О.					гр. ЗХТ-22			

АНОТАЦІЯ

Павлов Д.В. Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу застосування неспікливих добавок для регулювання властивостей вугільних шихт і підвищення якості доменного коксу. Актуальність дослідження обумовлена погіршенням сировинної бази коксування, зростанням вимог до якості коксу та необхідністю зниження тиску розпирання під час коксування для забезпечення надійної роботи коксових батарей. Особливу увагу приділено вивченню впливу органічних і неорганічних добавок на процеси спікання, коксоутворення, формування структури коксу та його технологічні властивості.

На основі аналізу літературних джерел розглянуто можливості використання неспікливих мінеральних добавок як засобу розширення сировинної бази коксування та покращення показників якості коксу без суттєвих змін існуючої технологічної схеми підготовки шихти. Встановлено вплив окремих мінеральних компонентів на показники реакційної здатності коксу (CRI) та його міцності після реакції (CSR).

Показано доцільність використання у складі шихти мікропорошків оксиду алюмінію та карбіду кремнію, а також коксового дріб'язку. Встановлено, що введення об'ємно-модифікуючих добавок у невеликих концентраціях сприяє формуванню більш впорядкованої структури коксу, зниженню його реакційної здатності та підвищенню міцності. Запропоновано технологічну схему введення твердих мінеральних добавок на стадії підготовки шихти, що забезпечує їх рівномірний розподіл у всьому об'ємі матеріалу.

Визначено, що використання 0,25 % порошоків оксиду алюмінію та карбіду кремнію разом із 3 % коксового дріб'язку дозволяє скоротити частку дефіцитного спікливого вугілля у складі шихти та знизити тиск розпирання на 12–15 %. При цьому прогнозується підвищення показника CSR на 6,1 % і зниження показника CRI на 3,7 %. Отримані результати підтверджують перспективність застосування неспікливих мінеральних добавок для підвищення якості доменного коксу, розширення сировинної бази коксування та покращення техніко-економічних показників доменного виробництва.

Ключові слова: вугільні концентрати, шихта, мінеральні добавки, тиск розпирання, реакційна здатність коксу.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз сировинної бази коксування КХВ ПАТ «АМКР»	10
1.2 Основні компоненти вугільних шихт і особливості поведінки їх при коксуванні	12
1.3 Аналіз впливу сировинних та технологічних факторів на тиск розпирання	14
1.4 Класифікація домішок, які використовуються в якості компонентів вугільної шихти	28
1.5 Органічні речовини для збільшення насипної щільності шихти	30
1.6 Спінктиві органічні домішки	38
1.6.1 Класифікація та основні вимоги до спінктивих домішок	38
1.6.2 Товарні нафтопродукти як добавка до вугільної шихти	40
1.6.3 Використання технологічно отриманих добавок	41
1.6.4 Використання промислових відходів	42
1.7 Опіснюючі добавки в шихту	44
1.8 Висновки до аналітичної частини	49
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	50
2.1 Обґрунтування використання твердих добавок для отримання високоякісного коксу та покращення умов експлуатації коксових печей	50
2.2 Вплив мікропорошків карбіду кремнію на якість доменного коксу	51
2.3. Висновки до основної частини	58
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

Для отримання доменного коксу з необхідними якісними показниками при наявній вугільній базі придатні різні способи і прийоми, які дозволяють поліпшити ті або інші параметри якості основного продукту. До таких способів відноситься цілеспрямоване регулювання якості коксу шляхом введення у вугільні шихти неспікливих добавок: коксовий пил і дрібняк антрациту, напівкоксу, а також неорганічних добавок (дрібнодисперсні оксиди титану, кремнію, заліза і алюмінію) [1].

Для отримання високоякісного коксу і забезпечення прибутковості роботи коксохімічних підприємств вугільна шихта має містити не менше 50 % коксового вугілля. Але це вугілля, як і піснувато-спікливе, що також є невід'ємним компонентом шихти, розвиває при коксуванні великий тиск розпирання (10-20 кПа).

В той же час опалювальні простінки коксових печей можуть протягом тривалого часу витримувати навантаження не більше 7-8 кПа, на яке вони розраховані [1]. Тому при складанні шихт необхідно уникати розвинення при коксуванні надмірного тиску розпирання, величина якого не є адитивною. Це особливо важливо у нинішній час, для якого характерні непередбачувані зупинки видобутку та значні складнощі в транспортуванні вугілля. В свою чергу, це призводить до частих та суттєвих змін у складах та властивостях шихт для коксування.

Протягом ряду років інтерес дослідників викликає внесення до вугільної шихти для коксування різних вуглеводних матеріалів, що представляють собою складні багатокомпонентні суміші рідких або низькоплавких аморфних або кристалічних речовин. Такий технологічний прийом розглядається як засіб управління якістю коксу, який отримується, і як спосіб кваліфікованої переробки (утилізації) ряду вторинних продуктів хімічних виробництв. У зв'язку з погіршенням сировинної бази коксування і в той же час зростаючими вимогами до якості коксу модифікація властивостей вугільної шихти та

доменного коксу домішками – перспективний напрям покращення якості коксу.

Різні речовини мають неоднозначний вплив на процеси коксування, ефективність такого впливу може бути теж різною. Залежно від агрегатного стану, поверхневих властивостей, температур плавлення і кипіння, а також від хімічного складу органічна речовина чинить певний вплив на насипну щільність завантаження, пластифікацію вугільної речовини, хімізм спікливості. Тому в роботі висвітлені матеріали стосовно добавки до вугільної шихти спікливих, пісних, неорганічних добавок. Особлива увага приділяється вивченню механізму впливу добавок мікропорошків корунду та карбіду кремнію на процеси спікання і коксоутворення, тиск розпору та якість коксу.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сировинної бази коксування КХВ ПАТ «АМКР»

Сучасна сировинна база коксохімічного виробництва України носить стійкий багатобасейновий характер, де поряд з українським, використовується імпордне коксівне вугілля ближнього і далекого зарубіжжя. При цьому частка українського вугілля постійно скорочується [1].

Починаючи з 2013 року в сировинній базі стало використовуватися вугілля Канади, а з 2014 року - Австралії. Особливістю сировинної бази ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є використання вугільної сировини дальнього зарубіжжя (США), вугілля Казахстану.

Міжбасейнова сировинна база КХП характеризується високою зольністю, невисоким вмістом сірки, стабільним вмістом летких речовин і достатньою спікливістю.

У таблиці 1.1 наведено усереднені показники якості вугілля, що входить в сировинну базу КХП ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Таблиця 1.1

**Усереднені показники якості вугілля, що входить в сировинну базу КХП
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (%)**

Країна	A ^d	S ^{dt}	V ^{daf}	y, мм	R _o	I _o , од	V _t
Україна	8,1	1,24	30,6	17,5	1,07	3,25	86
росія	9,6	0,81	29,4	14,4	1,01	2,83	66
Казахстан	11,7	0,61	26,1	17	1,17	2,60	67
Далеке зарубіжжя (США)	8,9	0,57	27,0	19	1,13	2,31	68

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

ДП «УХІН» були розроблені технічні умови для КХП ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» - ТУ У 23.1-00190443-173: 2006 «Кокс доменний ПАТ« АрселорМіттал Кривий Ріг », що діють і в даний час [2]. Аналізуючи представлені дані по складу і характеристиці вугілля, що входять в сировинну

базу КХП ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», можна констатувати наступні основні принципи її формування:

- склади шихт повинні базуватися на основі вугілля різних країн і басейнів. При цьому базовим є вугілля Донецького і Карагандинського басейнів при участі російського вугілля і вугілля далекого зарубіжжя;

- склади шихт повинні розроблятися з урахуванням стану пічного фонду та забезпечувати необхідну якість доменного виробництва.

В даний час доменне виробництво металургійного комбінату освоює технологію вдування ПВП в доменну піч № 9. Дана технологія передбачає використання низькорекційного металургійного коксу з високою механічною і послереакційною міцністю. Одночасно з цим йде будівництво нової коксової батареї з використанням технології трамбування шихти перед коксуванням. Дана технологія дозволяє використовувати велику кількість присадних вугілля як малометаморфізованих марок (ДГ, Г, ГЖО), так і високих стадій метаморфізму (КС, КСН, ПС). При цьому технологія дозволяє обмежувати використання жирного вугілля діапазоном 25-30 %, а необхідність у використанні коксового вугілля взагалі відпадає. Отримання коксу з низькою реакційною здатністю і високими прогностичними показниками з використанням технології трамбування також зажадає залучення малосірчистого низькоосновного вугілля різних басейнів, в першу чергу присадочних марок, пайова участь яких може досягати 70 %. При розробці складів таких шихт велике значення має параметр тиску розпору, який особливо високий у високометаморфізованого вугілля.

На дестабілізацію якісних показників шихти помітно впливають постачання бінарних сумішей марок Г + Ж, складу, що коливається. Крім того, на ПАТ «АМКР» прибуває до 10-15 % вугілля позапланових постачань, марочна структура яких відрізняється від планової пониженим вмістом добре спіклого вугілля. Істинний марочний склад шихти з участю концентратів різних вуглезбагачувальних фабрик повинен обов'язково визначатися з урахуванням петрографічних характеристик і, зокрема, рефлексам шихти.

Необхідно враховувати фактичну кількість мацералів групи інертиніта, які не володіють здатністю спікатися і повинні розглядатися як опіснююча домішка до шихти, близька за властивостями до неспікливого вугілля марки «Т». Водночас мацерали групи липтиніту, що утворюють при термічній деструкції значну кількість рідкорухомих продуктів, слід відносити до складових вітриніту, умовно відповідним марки «Ж».

Отже, на нашу думку, отримувати високоякісний кокс можна за рахунок вдосконалення технології підготовки шихти для коксування.

З урахуванням петрографічної неоднорідності використовуваного вугілля у сировинній базі ПАТ «АМКР» (Кузнецький та Карагандинський басейни) властивості коксу доцільніше покращити добавкою неспікливих домішок в вугільну шихту.

1.2 Основні компоненти вугільних шихт і особливості поведінки їх при коксуванні

Газове вугілля, яке присутнє в шихті, знижує тиск розпирання і забезпечує легку видачу коксового пирога з камер коксування, характеризується високим хімічним потенціалом. Це вугілля збільшує вихід газу і хімічних продуктів коксування (смоли і бензольних вуглеводнів). При самотійному коксуванні утворює порівняно дрібний кокс з відносно невисокою механічною міцністю. Має високу реакційну здатність, що негативно впливає на реакційну здатність і післяреакційну („гарячу”) міцність коксу.

Жирне вугілля являється основним компонентом сучасних шихт процесу шарового коксування і забезпечує отримання добре проплавленого коксу з високою механічною міцністю. При надлишку вмісту жирного вугілля в шихті в коксі розвивається поперечна тріщинуватість і він стає дрібно кусковим. Жирне вугілля, яке має високу спікливість ($y=25-30$ мм), здатне приймати значну кількість опіснюючих домішок. Основна маса жирного

вугілля при самостійному коксуванні утворює добре проплавлений малостиранний кокс невисокої міцності. Деяке жирне вугілля з товщиною пластичного шару більше 30 мм має дуже рідку рухому пластичну масу в період пластичності і при значному участі в шихті розвивають в коксі підвищену тріщинуватість. Жирне вугілля невисокої спіклivosti ($y=17-19$ мм) по формі пластометричної кривої, зовнішньому вигляду коксового королька і в'язкості пластичної маси наближаються до газового вугілля підвищеної спіклivosti ($y=16-18$ мм). При самостійному коксуванні з них отримується дрібний і тріщинуватий механічно неміцний кокс.

Коксове вугілля забезпечує в шихті найбільш упорядковану структуру, високу міцність і однорідну кусковатість коксу. Маючи високу спіклivість воно відрізняється від жирного вугілля тим, що приймає обмежену кількість опіснюючих домішок. Так, якщо жирне вугілля ($y=25-30$ мм) здатне приймати 50-60% опіснюючих компонентів, то коксове вугілля з товщиною пластичного шару 18-22 мм може приймати всього 10-15% таких домішок.

Коксове вугілля з більш низькою спіклivістю опіснюючих компонентів не приймають, а при індивідуальному коксуванні утворюють високопрочний малостиранний кокс.

Деяке коксове вугілля може розвивати в шихті високий тиск розпирання.

Піснувате спікливе вугілля є опіснюючим компонентом шихти, яке знижує тріщинуватість коксу, яка розвивається жирним вугіллям. Тому піснувате спікливе вугілля здатне підвищувати крупність коксу [2]. Деяке вугілля цієї марки розвивають в шихті високий тиск розпирання.

Сучасні багатокомпонентні шихти, в які входить велика кількість вугілля з різних басейнів, являються складними системами, які потребують урахування визначеного впливу того чи іншого компоненту і технологічного фактору на процес коксування і якість коксу. В цих умовах шихту для коксування слід розглядати як двокомпонентну суміш, яка складається з спікливої та опіснюючої частин.

До спікливої частини слід відносити вугілля переважно середньої стадії метаморфізму, в тому числі марки ГЖ, Ж, КЖ, К.

До опіснюючих малометаморфізованих компонентів слід відносити вугілля марок ДГ, Г, ГЖП, а високометаморфізованих – ПС, КС, КП, КСН, СС, П. При цьому небажано в шихтах для шарового коксування одночасно використовувати велику кількість опіснюючих компонентів низької і високої стадії метаморфізму.

Практика роботи коксохімічних підприємств України показує, що для отримання коксу з показниками механічної міцності $M_{25}=87-89\%$ і $M_{10}= 6,5-7,0\%$, зольністю $A^d \leq 11\%$, вміст сірки $S_t^d \leq 1,00\%$ необхідно забезпечити наступні показники якості шихти: $A^d \leq 8,4\%$, $S_t^d \leq 1,10\%$, спікливість $y=16-18\text{мм}$ $V^{daf} \leq 27-28\%$. При цьому слід знати, що збільшення зольності шихти призводить до підвищення стиранності коксу; зниження спікливості призводить до погіршення показників механічної міцності, підвищенню тріщинуватості і зниженню виходу металургійного коксу; підвищення спікливості призводить до ожирення шихти, а також до підвищення тріщинуватості коксу і зниженню виходу металургійного коксу.

Зниження виходу летючих речовин з шихти може призвести до підвищення тиску розпирання, тугому ходу при видачі коксового пирога з камери коксування і навіть „бурінню”. Підвищення виходу летючих речовин супроводжується зниженням виходу валового кокса і зменшенням його крупності.

1.3 Аналіз впливу сировинних та технологічних факторів на тиск розпирання

Під тиском розпирання слід розуміти тиск, який проявляє вугільна маса, що перейшла в пластичний стан за умови, що вона позбавлена можливості вільно розширюватися. У промислових умовах при коксуванні вільному розширенню вугілля перешкоджають стінки печі і шар вищерозміщеного

вугільного завантаження. Лише у верхньому тонкому шарі завантаження ці сили не врівноважені, тому тут може виявлятися спучування, що веде до утворення «губчастого» коксу.

У міру прогріву коксованого вугільного завантаження пластичні шари розподіляються в напрямку від гріючих стін до осьової площини камери коксування, а товщина шарів напівкоксу-коксу наростає. У момент злиття пластичних шарів в осьовій площині камери коксування спостерігається максимум тиск розпирання. При коксуванні трамбованого вугільного пирога, що завантажуються в камеру коксування з зазорами 15-20 мм по сторонам, спочатку відбувається його вільне розширення до моменту контакту зі стінами, а потім розвивається тиск розпирання на стіни. Тиск розпирання чинить негативний вплив на стіни коксової камери. Згідно з Правилами технічної експлуатації коксохімічних підприємств величина тиску розпирання заводських шихт не повинна перевищувати значення 7 кПа [3-6].

Відомо, що різне коксівне вугілля, при нагріванні без доступу повітря, утворює пластичний шар більшої або меншої товщини, а сама пластична маса цього шару характеризується різними в'язкістю, однорідністю, термостійкістю, що формують її газопроникність. Поєднання цих параметрів і швидкості утворення парогазових летких продуктів визначає величину вільного спучування пластичної маси. При неможливості вільного спучування наповнений парогазовими продуктами пластичний шар чинить тиск (розпирання) на гріючі стіни камери коксування. Чим більше тиск парогазових продуктів в пластичному шарі, тим більше тиск розпирання коксованого вугільного завантаження. Оскільки нагрів вугільного завантаження в коксовій камері двосторонній, то пластичні шари, які утворюються з двох сторін камери, надають однаковий тиск на обидві гріючі стіни. Це обумовлено однаковим температурним режимом в обох обігрівальних простінках камери коксування. Величина тиску розпирання шихт залежить від їх компонентного складу. Вугільні концентрати різняться за технологічними властивостями, в тому числі і за тиском розпирання.

Найбільш розпираюче вугілля може розвивати тиск до 60 кПа і більше. Конструкції ж обігрівальних простінків коксових батарей розраховуються на нормальний тиск 7 кПа. Ця величина приймається, як критеріальне значення для коксуємих вугільних шихт, при якому забезпечуються нормальні умови експлуатації коксових батарей і тривалий термін їх ефективної служби. Коксування шихт, тиск розпирання яких істотно вище критеріального, призводить до труднощів при видачі готового коксового пирога, тобто до підвищення амперажу електродвигуна прес-штанги коксовиштовхувача (ампераж видачі), а в екстремальних випадках - до одиничного або масового буріння печей [3-6].

Буріння, як відомо, призводить до розладу режиму обігріву і графіка видачі як забурених, так і сусідніх з ними печей, а також до падіння виробництва коксу, до деформації кладки обігрівальних простінків і, як наслідок, до прискореного зносу печей. На думку авторів роботи [4] для виключення зазначених явищ необхідно, щоб складання шихти для коксування проводилося не тільки з урахуванням отримання міцного коксу, а й з урахуванням тиску розпирання сировини. Тому після чергової перешихтовки перш, ніж подавати шихту в виробництво, необхідно визначити її тиск розпирання. Величина максимального тиску розпирання, що розвивається при коксуванні вугілля різних родовищ і марок, коливається в широких межах. У таблиці 1.2 наведені величини максимального тиску розпирання, що розвивається донецьким вугіллям різних марок.

Таблиця 1.2

Максимальний тиск розпирання донецького вугілля, кПа

Марка вугілля	Максимальний тиск розпирання донецького вугілля, кПа
Г	1,5-5,5
Ж	4,0-8,0
К	9,0-17,0
ПС	4,5-21,0

На підставі наведених та інших даних можна зробити висновок, що тиск розпирання залежить від великого числа інших факторів, а саме: від петрографічного складу вугілля, властивостей пластичної маси т.д.

Тиск розпирання визначається не тільки властивостями вугілля, воно залежить також від ряду технологічних умов коксування: насипної щільності, вологості шихти, добавок опіснюючих присадок, швидкості коксування і т.д.

У таблиці 1.3 наведені дані, що характеризують залежність максимального розпирання від насипної щільності.

Таблиця 1.3

Залежність максимального розпирання від насипної щільності

Марка вугілля	Насипна щільність	Максимальний тиск розпирання донецького вугілля, кПа
Г	760	2,4
	800	3,2
	1100	4,8
Ж	760	4,0
	800	5,8
	1100	12,0
К	760	6,4
	800	10,0
	1100	26,0
ПС	760	6,5
	800	13,5
	1100	29,0

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

При зволоженні шихти одночасно з насипною щільністю змінюється і тиск розпирання. При добавці опіснюючих присадок (коксового дрібняка, вугілля марок Т і А) тиск розпирання зменшується. Зменшення тиску розпирання при введенні опіснюючих присадок можна пояснити тим, що пластична маса стає більш неоднорідною і бульбашкам газу, що утворюються при нагріванні вугілля, легше прориватися назовні. Встановлено, що чим менше помел шихти, тим більший тиск розпирання воно зможе розвинути [1-4].

Величина тиску розпирання тісно пов'язана зі швидкістю коксування. При швидкості нагріву вугілля $6\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ максимальний тиск розпирання розвивається в кінці періоду коксування в інтервалі температур $600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$, при зменшенні швидкості нагріву до $3\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ максимум переміщається в область більш низьких температур ($450\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$), при цьому максимальна величина тиску розпирання зменшується приблизно на 45 %.

Зі зменшенням ширини камери коксування тиск розпирання зростає. Крім того, встановлено, що при тривалому зберіганні сильно розпираючого вугілля, внаслідок його окислення, може повністю втратити цю властивість. З іншого боку, тиск розпирання обумовлює збільшення виходу і міцності коксу, так як воно сприяє більш повному зрощенню розм'якшених частинок вугілля, що призводить до підвищення щільності коксу [4]. На рисунку 1.1 показано графік залежності комплексного показника Π_k від величини тиску розпирання.

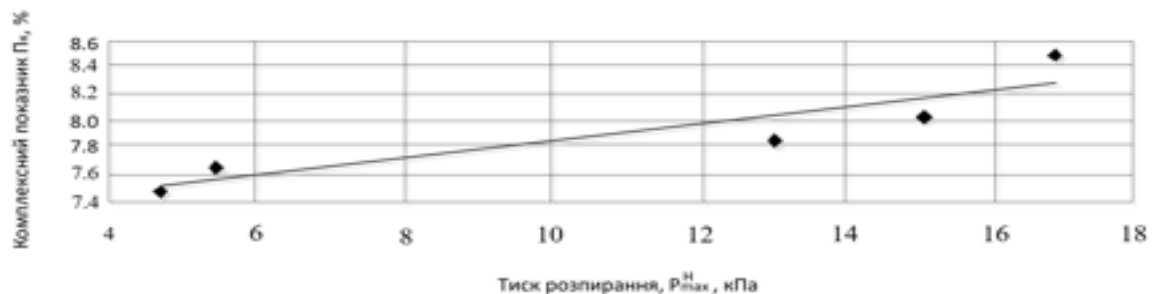


Рис. 1.1. Графік залежності показника Π_k від величини максимального тиску розпирання

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

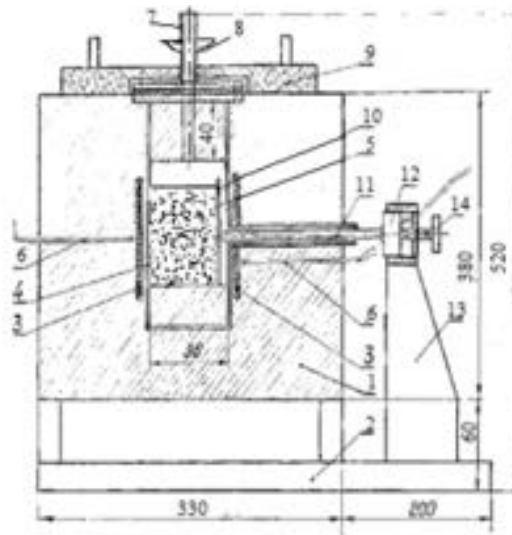
Π_k - комплексний показник, що враховує технологічну цінність вихідної шихти з точки зору отримання з неї максимального виходу як валового так і металургічного коксу з високими показниками міцності, розраховується за формулою:

$$\Pi_k = \frac{B_k^d \cdot B_m \cdot M_{25}}{M_{10} 100} \quad (1.1)$$

де B_k^d - вихід сухого валового коксу, %; B_m - вихід сухого металургійного коксу, %; M_{25} – механічна міцність коксу, %; M_{10} – стиранність коксу, %.

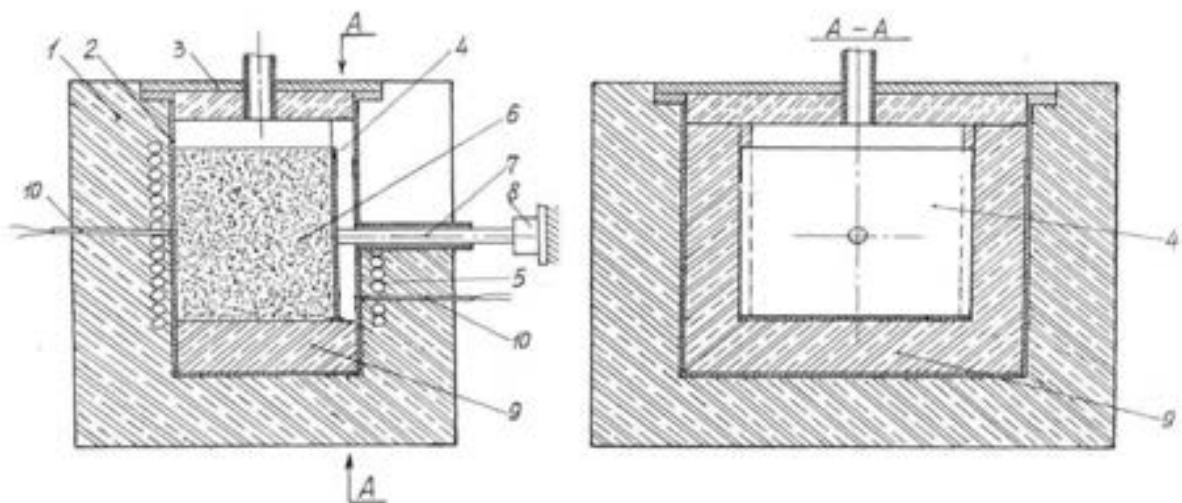
Тиск розпирання не підкоряється закону адитивності і тому необхідно кожен варіант шихти досліджувати дослідним шляхом - коксуванням в лабораторній печі ВУХІНа. В даний час в деяких зарубіжних країнах (Франція, Німеччина, Чехія, Росія та ін.) тиск розпирання дослідних шихт визначають в напівпромислових коксових печах з рухомою стінкою із завантаженням шихти від 150 до 500 кг [4]. Такі печі практично повністю моделюють процес коксування, що здійснюється в промислових коксових печах, проте їх будівництво і експлуатація вимагають значних фінансових витрат. Період коксування в цих печах такий же, як і в промислових тому визначення тиску розпирання займає багато часу. Набагато дешевше і швидше визначити тиск розпирання вугілля або шихти можна із застосуванням лабораторної установки, в якій створені умови для моделювання промислового процесу коксування в частині розвитку тиску розпирання [4]. Дана установка відтворює в малому масштабі той же процес розвитку тиску розпирання, що має місце в промисловій печі.

Конструкція установки схематично показана на рисунках 1.2-1.4 [5].



1 - цегляна кладка, 2 - каркас печі, 3 - нагрівальні елементи, 4 - реторта, 5 - вугільне завантаження, 6 - термопара, 7 - кришка реторти зі газовідвідної трубою, 8 - тарілка, 9 - кришка, 10 - упорна пластинка, 11 - кварцовий стрижень, 12 - датчик тиску, 13 - кронштейн, 14 - юстувальний гвинт

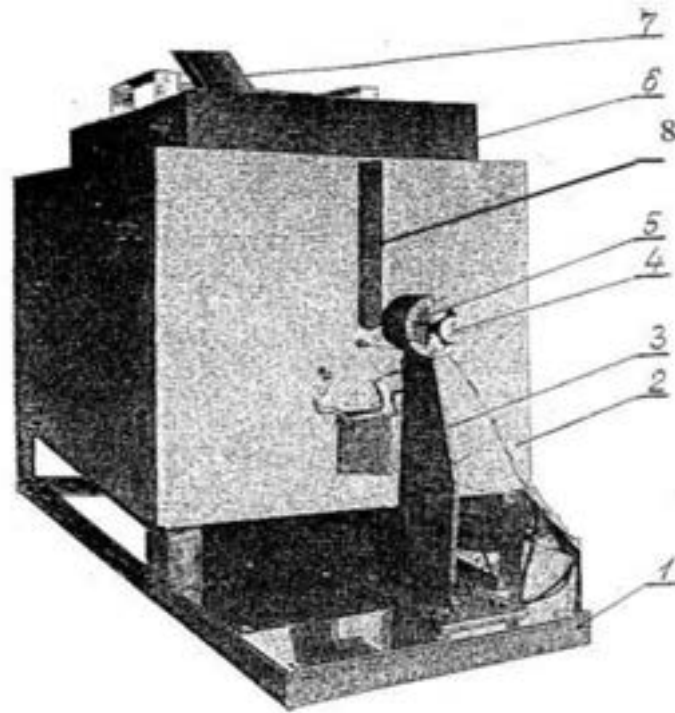
Рис. 1.2. Конструкція установки по визначенню тиску розпирання



1 – піч, 2 – сталева реторта, 3 – кришка з газовідвідним патрубком, 4 – сталева пластинка, 5 – електрообігрівачі, 6 – вугільна завантажка, 7 – кварцевий стрижень, 8 – датчик тиску, 9 – термоізоляція, 10 – термопара

Рис. 1.3. Уніфікована установка для визначення тиску розпирання (P'') трамбованого і насипного вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5,6]



1 - основа; 2 - електропіч; 3 - кронштейн; 4 - юстувальний гвинт; 5 - датчик тиску; 6 - кришка теплоізоляційна; 7 - газовідвідна труба; 8 - отвір

Рис. 1.4. Установа для визначення тиску розпирання вугілля і шихт.

Загальний вигляд

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

До складу установки входить електропіч, трансформатор на 20 А, блок управління температурним режимом, блок індикації тиску розпирання, п'єзоелектричний датчик тиску на 100 кПа, кронштейн для датчика тиску, реторти для коксування зі сталі марки Ст. 3. Цегляна кладка 1 печі виконана в металевому каркасі 2 з уголка і облицьована листом з полірованої нержавіючої сталі. Для вогнетривкої кладки використана цегла з легкого пеношамота марки ШЛ-04№7. Робоча температура пеношамота - до 1570 К, коефіцієнт теплопровідності низький ($\lambda = 0,29$ Вт/м·К), що сприяє запобіганню витоку тепла в навколишній простір [6]. Цей матеріал легко піддається обробці, наприклад, різанні ножівкою по металу. Цегляна кладка утворює нагрівальну камеру, в передній і задній стінках якої розміщені нагрівальні

елементи 3 з фехралевого дроту марки Х23Ю5, навитої у вигляді спіралі. У передній частині печі виконаний щелеобразнимі отвір шириною 20 мм, який необхідний для проходу бічного патрубку реторти при установці її в нагрівальну камеру.

Режим нагріву реторти 4 з вугільної завантаженням 5 ведеться автоматично блоком управління з показаннями хромель-алюмелевих термопар 6 типу ТХА-1007, ДСТУ 2857-94 [10]. Реторта має наступні розміри, мм: довжина - 164, ширина - 106, висота - 190. У верхній її частині є фланець товщиною 6 мм для з'єднання з кришкою, забезпеченою газовідвідним патрубком 7 з тарілкою 8 для збору частково конденсованих в газовідвідній трубці води і кам'яновугільної смоли. Реторта встановлюється в нагрівальну камеру печі з незначними зазорами. Тиск (розпору) коксованого вугільного завантаження сприймає упорна пластинка, а від неї тиск через кварцовий стрижень, передається на датчик тиску. Оскільки датчик тиску нерухомий (впирається в юстувальний гвинт), то нерухома і система «упорна пластинка - кварцовий стрижень», хоча вони і мають свободу пересування. Тому, тиск розпирання вугільного завантаження відбувається при постійному обсязі, тобто за умов, аналогічних коксуванню в промисловій печі.

При виконанні виміру тиску розпирання спочатку включають піч в мережу 220 В. Викладають бічні стінки камери коксування реторти листовим азбестом товщиною 3 мм і виробляють завантаження камери вугіллям (шихтою). Завантаження виробляють трьома однаковими порціями, злегка пресуя товкачем і заміряючи висоту завантаженої порції. На рисунках 1.5-1.7 наведено поетапне виконання робіт на установці по визначенню тиску розпирання [6].

В таблиці 1.4 наведені необхідні параметри підготовки вугільного завантаження [6].

Таблиця 1.4

**Параметри підготовки вугільної проби, що завантажуються в камеру
коксування**

Маса вугільного завантаження, г	Рівень подрібнення, кл ≤ 3 мм	Вологість, %	Насипна щільність, г/см ³
600	80 $\pm$ 3	10 $\pm$ 2	0,80 $\pm$ 0,01

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [10]

Установка використовується ЦЛ для визначення тиску розпирання нового вугілля, а також для періодичної перевірки вугілля, що постійно застосовуються в шихті для коксування, і для визначення тиску розпирання шихт при перешихтовці. У 2014-2015 рр. на даній установці проведена напрацювання даних по визначенню якісних показників використовуваних на виробництві вугільних концентратів, а також виробничих вугільних шихт [6].

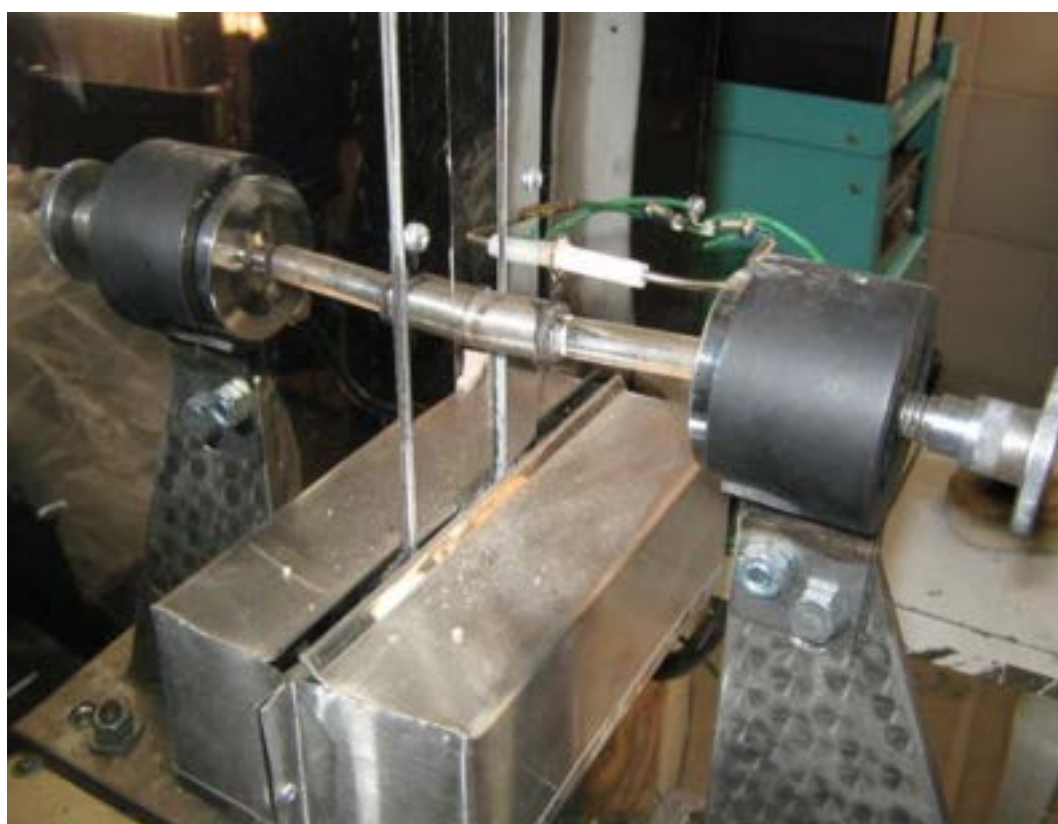


1. Завантаження проби в реторту



2. Установка реторти в камеру

Рис. 1.5. Поетапне виконання робіт на установці по визначенню тиску розпирання



3. Складання установки, підключення датчика виміру тиску



4. Проведення випробування

Рис. 1.6. Поетапне виконання робіт на установці по визначенню тиску розпирання



5. Зняття показів



6. Утворений корольок

Рис.1.7. Поетапне виконання робіт на установці по визначенню тиску розпирання

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5,6]

Таблиця 1.5

Тиск розпору вугільних концентратів [10]

Найменування	Марка	Тиск розпирання, кПа
Високолетючі HV		
Ресурс	ГЖО	2,2-7,4
Кузнецька	ГЖ+Ж	1,5-2,2
Распадська	ГЖО	2,2-5,2
Краснолиманська	Ж	5,1
Clintwood	-	3,8
Жовтнева	Г	2,3
Середньолетючі MV		

Східна	ККЖ	3,3
Свято-Варваринська	К	25,0-33,0
Узловська	К	12,0-25,0
Брянковська	К	5,7
Crizzly Creek		3,4
Goomyella		2,4
Низьколетючі LV		
Барзасська	КС	2,2
Краснобродська	КС	3,7

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Таблиця 1.6

**Тиск розпору вугільної шихти КХП ПАТ
«АрселорМіттал Кривий Ріг»**

Період	Тиск розпору, кПа
Листопад 2014	5,8
Грудень 2014	4,9
Червень 2015	2,6
Липень 2015	2,4
Серпень 2015	2,5
Вересень 2015	2,1
Жовтень 2015	2,4
Листопад 2015	2,8
Грудень 2015	3,0
Січень 2016	3,2

Лютий 2016	3,0
Березень 2016	3,3
Квітень 2016	3,5

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Проведення випробувань за визначенням тиску розпору шихт дозволить:

- своєчасно вносити корективи в марочний склад шихти перед використанням у виробництво;
- виключити випадки промислового використання небезпечної шихти з підвищеним тиском розпирання;
- виключити випадки буріння коксового пирога, пов'язане з марочним складом вугільних шихт.

1.4 Класифікація домішок, які використовуються в якості компонентів вугільної шихти

Усі органічні добавки в шихту можна умовно представити у вигляді схеми, наведеній на рисунку 1.8.

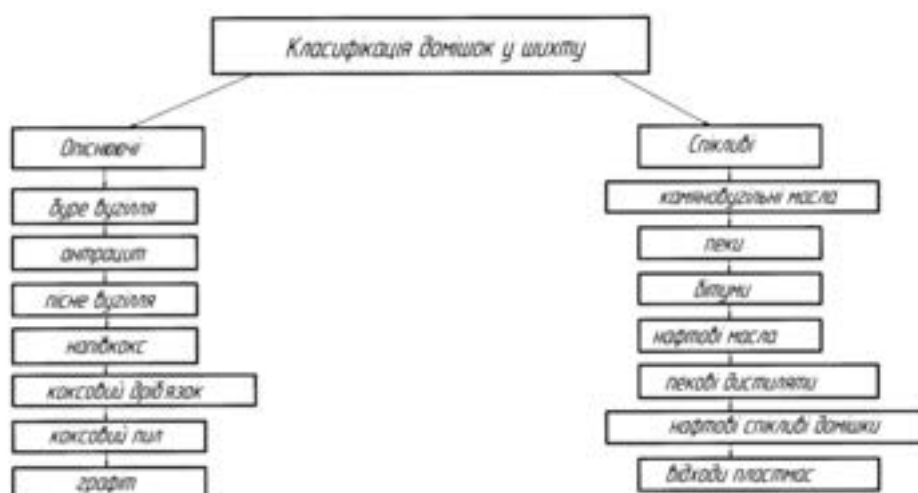


Рис. 1.8. Класифікація домішок у шихту

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7-11]

До групи неорганічних добавок можна віднести оксиди, карбонати, карбіди і ін., а до опіснюючих - антрацит, напівкокс, коксовий дрібняк і пил.

Можливість використання органічних речовин в якості добавок для поліпшення якості коксу відома давно. Різні речовини мають неоднозначний вплив на процеси коксування; ефективність такого впливу може бути різною. Дослідники досить довго і багато займалися питаннями підбору органічних добавок, однак єдиної загально визначеної методики не існує.

Серед факторів, які впливають на процес спікання і коксоутворення при введенні органічних речовин в шихту, виділяють три основних:

- збільшення насипної щільності вугільного завантаження завдяки обмаслюванню його вуглеводними рідинами;
- посилення пластифікації вугілля органічними добавками та продуктами термодеструкції;
- поліпшення спікливості вугілля внаслідок процесів хімічної взаємодії продуктів термічної деструкції вугілля і органічної добавки.

Слід зазначити, що в більшості випадків внесення в шихту опіснюючих і органічних добавок не обумовлюється тенденцією отримання високоякісного коксу. Найчастіше це викликано необхідністю утилізації вторинних продуктів без зниження якісних показників коксу і хімічних продуктів коксування або падінням попиту - наприклад, на коксовий дрібняк і пил (в разі опіснюючих добавок) [7-11].

Домішки у вугільну шихту можна умовно поділити на три групи, залежно від їх походження (рис. 1.9).



Рис. 1.9.Добавки в вугільну шихту

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [11]

1.5 Органічні речовини для збільшення насипної щільності шихти

Сучасна вугільна сировинна база непостійна за марочним складом і технологічним властивостям; вугілля нерівномірно поставляється на заводи, а шихти для коксування є багатокомпонентними. На дестабілізацію якісних показників шихти помітно впливають постачання бінарних сумішей марок Г + Ж, складу, що коливається. Крім того, на заводи прибуває до 10-15 % вугілля позапланових постачань, марочна структура яких відрізняється від планової пониженим вмістом добре спікливого вугілля. Коливання якісних показників шихти не можуть бути ліквідовані тільки шляхом організаційних заходів у вугільній промисловості і вони збережуться в найближчій перспективі. Тому проблема отримання доменного коксу з сучасних шихт з підвищеною участю слабоспікливого вугілля та вугілля, що не спікається, при шаровому процесі коксування може бути вирішена тільки шляхом впровадження нових ефективних технологічних процесів підготовки цих шихт з підвищенням щільності завантаження.

Продуктивність коксових батарей залежить від насипної щільності шихти. Збільшити насипну щільність шихти можливо за рахунок обробки вугілля різними органічними речовинами. Збільшення насипної маси замасленої шихти позитивно впливає на її спікливість, поліпшуючи показники механічної міцності коксу, сприяє збільшенню вмісту в ньому крупних класів.

В якості таких добавок застосовують рідини, які можна розділити на дві групи:

1. Низькокиплячі – гас і газойль, володіють поверхнево-активними властивостями сприяють збільшенню насипної густини і значною мірою – пластифікації.

2. Висококиплячі – мазут, солярове, антраценове та інші масла. Речовини, температура кипіння яких перевищує 350 С, зазвичай виявляють себе як ефективні пластифікатори.

Мінімальні добавки (0,1-0,3 %) цих речовин підвищують насипну щільність шихти [1]. Механізм впливу таких рідин полягає у зменшенні когезійних сил зчеплення між вугільними зернами. У результаті підвищується їхня агрегація, а внаслідок зниження сил тертя між частками вугілля підвищується його сипкість, що міняє співвідношення компонентів «вугілля - вода - повітря» при завантаженні замасленого потоку шихти в камеру коксування. Все це приводить до поліпшення контакту між зернами завантаженої суміші й викликає зміну адгезійних і адсорбційних властивостей продуктів термічної деструкції в процесі коксування.

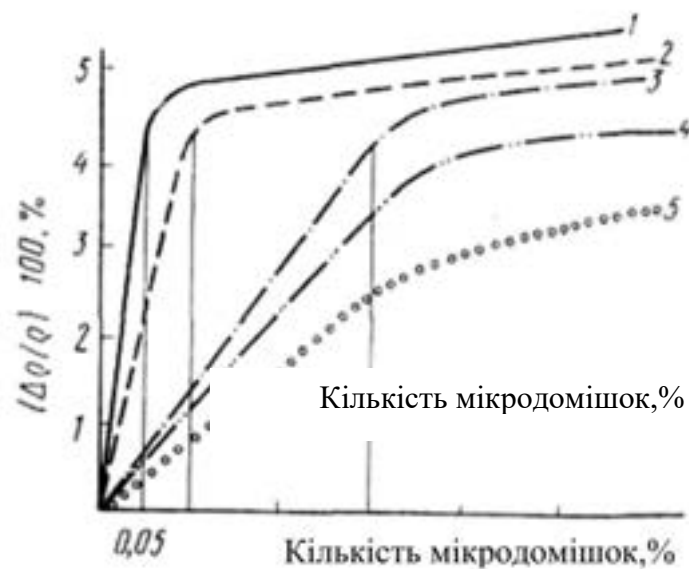
У ряді робіт враховують здатність добавки переходити при нагріванні в мезофазу, тобто рідкокристалічний стан, в якому виявляються її оптична анізотропія і висока адгезійна здатність по відношенню до вуглецю.

Мезогенні спікливі добавки здатні надавати найбільший вплив на процес коксування, так як вони впливають на хімізм спікання та коксоутворення. Немезогенні добавки беруть участь у процесі утворення коксу як пластифікатори, а також за допомогою збільшення густини вугільного завантаження [11].

Встановлена закономірність: чим вище температура кипіння обмасленої домішки (чим «важче» масло), тим більша кількість її необхідна для досягнення максимальної насипної щільності шихти (рис. 1.10).

Раніше вважалося, що основний позитивний ефект використання добавок в шихті полягає у збільшенні ресурсів рідких продуктів, що

забезпечує більш високу спікливість шихти. Однак не завжди підвищення спікливості поліпшує якість коксу. У деяких випадках при введення органічних речовин (особливо низько киплячих – мазуту, антраценового масла) разом зі збільшенням товщини пластичного шару та збільшенням виходу рідких речовин якість коксу не поліпшується, а в деяких випадках навіть погіршується [1].



1 – гас; 2 – мазут; 3 – вбирна олива; 4 – антраценове масло;
5 – пековий дистилят

Рис. 1.10. Залежність приросту насипної маси шихт від різних мікродомішок

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [11]

Механізм дії добавки органічних домішок на насипну щільність вугільної шихти полягає в наступному [7-11].

При нагріві вуглемасляної суміші до температур, при яких ще не починається термічне розкладання вугілля, добавки розподіляються по

поверхні вугільних зерен і частково адсорбуються ними. В період пластичного стану молекули добавки проникають в міжмолекулярний простір речовини вугілля, що змінюється, і сприяють підвищенню макромолекулярної рухливості по механізму зовнішньої пластифікації. Молекули рідкої добавки розсовують молекули продуктів розщеплювання вугілля, що утворилися, і утрудняють їх взаємодію в процесі поліконденсації.

Одночасно добавки беруть участь в реакціях водневого перерозподілу, в результаті якого перенесення водню добавок до реагуючих молекул (радикалам) вугілля приводить до стабілізації і, як наслідок, збільшенню кількості речовини з середньою молекулярною масою, створюючих рідку фазу пластичної маси.

Крім того, наявність речовини добавки підвищує концентрацію в пластичній масі рідкорухомих продуктів. В результаті зростає кількість, текучість і термостабільність пластичної маси, поліпшуються умови формування пластичного контакту залишкової речовини вугільних зерен і зародження мезофази, з якою пов'язують розвиток впорядкованої вуглецевої (оптично анізотропної) структури коксу напівкоксу.

Основним чинником дії добавок вважають їх хімічний склад (при постійній витраті добавок).

Встановлено, що парафінові вуглеводні практично не впливають на коксівність вугілля, а речовини, до складу яких входить кисень (фенольні або хинонні групи, гетероцикли) погіршують коксівність шихт [7-11]. Азот і азотовмісні з'єднання не сприяють підвищенню коксівних властивостей вугілля. В той же час висококонденсуючі речовини типу асфальтенів, які у великих кількостях містяться в кам'яновугільному пеку і важких залишках переробки нафти, покращують коксівність.

Слід зазначити, що збільшення насипної щільності вугільної шихти при додаванні масел підвищується із зростанням її вологості, досягаючи максимуму приблизно при вологості, відповідній мінімальним значенням насипної щільності вугільної шихти. Звідси витікає, що найбільшої

ефективності від застосування методу можна досягти тоді, коли вологість шихт знаходитиметься в межах, що відповідають мінімальним значенням насипної щільності вугільної шихти без домішок масла.

Ефективність дії добавок залежить також від спікливих властивостей вугілля. Введення добавок до вугілля, що володіє достатньою спікливістю (Ж, К, КЖ) не приводить до якого-небудь помітного позитивного ефекту. Для вугілля низької спікливості (Г, ПС, СС) і що не спікаються (Т, Д) дія добавки досить суттєва.

Доцільним може бути введення добавки у вугільні шихти з виходом летючих речовин не більше 25-26 % і завтовшки пластичного шару не вище 12-14 мм [12].

Для досліджень використовували вуглеводні рідини, що розрізняються в широкому діапазоні в'язкістю і поверхневим натягом, який має вирішальне значення для утворення тонких (ліосорбційних) плівок на поверхні вугільних часточок. Що виконують роль мастила між їх поверхнями і зменшують сили зчеплення. Показано, що більшою ефективністю відносно збільшення щільності завантаження характеризуються органічні рідини з проміжними значеннями в'язкості між гасом і мазутом – дизельне і моторне паливо та антраценове масло.

В роботі [13] проводили обмаслювання вугілля хімічними відходами коксохімічного виробництва (табл. 1.7)

В більшості випадків домішки сприяють збільшенню пластичності вугілля, що призведе до поліпшення фізико-механічних властивостей одержуваних з них коксів.

Інтенсивність пластифікації вугілля, яке нагрівається, визначається природою добавки і утворенням в вугіллі власної рідкої фази. Чим більше утворюється рідкої фази, тим більше вугілля здатне набухати і пластифікуватися при внесенні рідкої добавки. Таким чином, велику роль при одночасному нагріванні вугілля і добавки має їх сумісність (спорідненість) [3].

В декількох роботах показано, що ефективність впливу органічних добавок значно зростає, якщо вводити їх в нагріте вугільне завантаження в газоподібному стані [13]. В цьому випадку можна отримати кусковий твердий залишок навіть з пісного вугілля.

Таблиця 1.7

Характеристика домішок та ефект їх впливу на вугілля та їх суміші при коксуванні

Органічна домішка	Щільність, г/см ³	Температура, °C		Ефект впливу
		розм'якшення	кипіння	
Антраценова фракція КВС	1,111	-	235-360	Покращує механічні якості коксу
Мазут	1,004-1,058	40-60	-	Підвищується міцність коксу
Пек	1,29-1,55	60-80	360	
Крекінговий пек	1,10	51	-	
Гас	0,81-0,84	-	110-325	Збільшує вихід летючих речовин
Відходи пластмас:				
полістилен	0,90	120	500	Покращують механічну міцність коксу
полістирол	1,07	-	-	
Нафтовий бітум	-	68	-	Підвищує міцність брикетів
Окиснені продукти:				
Крекінг-залишок Ново-Уфимського НПЗ	-	179	450-460	Збільшують міцність коксів і вихід хімічних продуктів
Асфальт Пермського НПЗ	-	185	-	
Антрацен	1,25	217 (возгонка)	340	
Солярове масло (відпрац.)	-	-	300-350	

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [13]

У виробничих умовах вивчення властивостей вугільної шихти, кам'яновугільної смоли і доменного коксу підтвердило ефективність обмаслювання концентратів. Якість коксу не погіршилася. Відзначено зниження кількості пилоподібних часточок в шихті і підвищення її насипної щільності.

Відбулося істотне поліпшення якості кам'яновугільної смоли по зольності, щільності та за вмістом нерозчинених речовин в хіноліні.

Вивчено вплив різних нафтових і коксохімічних продуктів на якість коксу. Встановлено, наприклад, що використання мазуту, вакуумного і кислого гудрону, коксової і деревної смоли, кам'яновугільного пеку при оптимальній концентрації сприяє збільшенню товщини пластичного шару і підвищенню міцності коксу.

Якщо ж величина домішки перевищує оптимальну, то товщина пластичного шару зменшується, а тріщинуватість коксу зростає. В результаті даних досліджень рекомендовано додавання до вугільної шихти 1,5 % кам'яновугільного пеку або 5 % мазуту і одночасне збільшення в ній вугілля ПС і П; при цьому було показано, що з підвищенням концентрації домішки зменшується сірчистість коксу.

В роботі [13] визначають, що введення антраценового масла в шихту сприяє покращенню якості коксу. При використанні гасу, газойлю, антраценового масла поверхня вугільних часточок покривається тонкою плівкою рідини з меншим, чим у воді, поверхневим натягом, що сприяє збільшенню насипної щільності шихти. Зниження поверхневого натягу призводить до зменшенню сил зчеплення між вугільними часточками.

Існує досить простий в апаратурному оформленні спосіб, що дозволяє одночасно забезпечити ущільнення і обмаслювання шихти. З частини вугільної шихти на тарільчатих грануляторах виготовляли окатиши щільністю 1,1-1,2 г/см³. При цьому можна використовувати емульсію та рідинні органічні домішки. Тобто шляхом гранулювання вдалося досягти залучення у шихтах слабо спіклого вугілля та покращити якість коксу [14].

У виробничих умовах дослідили вплив таких домішок, як тюленовська нафта, мазут, коксова смола, кам'яновугільний пек в концентрації від 1 до 10 %. Рекомендовано додати до вугільної шихти 1,5 % кам'яновугільного пеку чи 5 % мазуту та одночасно збільшення у складі шихти слабо спіклого та пісного вугілля. При цьому було показано, що зі збільшенням концентрації добавки зменшується сірчистість коксу.

Дослідженнями [15] показано, що якість коксу поліпшується, якщо ввести 0,8 % мазуту не на всю шихту, а додати її тільки до опісненого спіклого компоненту. Кам'яновугільний пек потрібно додавати до слабоспіклого або газового вугілля, а не до коксівного. Показано, що введення 0,2% дизельного палива, 1,25 % коксової смоли або 0,25 % антраценового масла помітно підвищує міцність коксу. Додавання до шихти 3 % напівкоксової смоли приводить до підвищення показника M_{40} на 5,6 %, показник M_{10} зменшується при цьому на 0,8 %.

Термічний аналіз показує, що у присутності кам'яновугільної смоли і пека деструкція слабоспіклого і газового вугілля починається при нижчій температурі. При коксуванні цих сумішей протікають глибокі поліконденсаційні процеси, пов'язані з утворенням стійкіших вуглецевих систем. Встановлена велика текучість пластичної маси, обумовлена гідруючою дією органічних домішок. У присутності органічних домішок знижується температура переходу вугілля в пластичний стан, а товщина пластичного шару помітно зростає.

Дослідними коксуваннями встановили, що додання до шихти 3 % полукоксової смоли приводить до збільшення показника M_{40} на 5,6 %; показник M_{10} при цьому зменшився на 0,8 %.

Введення 0,2 % солярного масла чи гасу, як стверджують автори [16] збільшує насипну щільність вугільної шихти на 6 %.

Ефективним є і додання органічних речовин до шихти у вигляді емульсій чи суспензій. Так, наприклад, у Японії додавали 10-50 % емульсії зі відпрацьованих масел та визначали значне покращення якості коксу.

В роботі [17] вказується, що при додаванні 0,1-1,5 % емульсії, що містить кислі смолки, аміачну воду, насипна щільність шихти збільшилася на 0,2-1,3 %, одночасно зростає міцність коксу. В присутності емульсії, що містить відходи коксохімічного та металургійного виробництв та мазут, насипна щільність шихти збільшилася на 3 %.

При брикетуванні слабоспівливих компонентів в якості зв'язуючого дослідники рекомендували суміш з фусів та кислих смол. Запропоновано також додавати до шихти суміші відходів виробництва термопластичних (полити лен та полустирол) і термореактивних (амінопласти і поліефірні смоли) полімерів.

В роботі [17] показано покращення якості коксу при введенні 15 % фусів до шихти: показник M_{40} зріз на 9,5 %, M_{10} – знизився на 0,2 %.

Таким чином, методи підготовки вугілля для коксування, із застосуванням органічних домішок, дозволяють істотно підвищити вихід шихти та знизити її вологість без термічної підготовки, поліпшити якість коксу, а також збільшити вихід хімічних продуктів коксування.

1.6 Співливі органічні домішки

1.6.1 Класифікація та основні вимоги до співливих домішок

До співливих органічних домішок відносять кам'яновугільні масла, пеки, бітуми, нафтові масла, пекові дистиляти, нафтові співливі домішки, відходи пластмас. Усі співливі домішки в шихту для коксування можливо умовно представити у вигляді схеми на рисунку 1.11 [15].



Рис.1.11. Класифікація співливих органічних домішок в шихту

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [15]

В роботі [5] визначено основні вимоги до співливих домішок:

- повинні мати в'язкість та структуру, що забезпечують транспортування та змішування з вугільними шихтами;
- збільшувати насипну щільність вугільної шихти при її завантаженні;
- бути інертними до матеріалу, з якого виготовлені змішувальні та транспортуючі пристрої;
- повинні мати фракційний та хімічний склад, які дозволяють брати участь в утворенні пластичного шару.

Прогресуюче скорочення ресурсів співливого вугілля, особливо донецького вугілля марок Ж і К, спонукає дослідників активізувати пошук співливих добавок, здатних частково або повністю компенсувати дефіцит цього вугілля в шихті і забезпечити отримання якісного коксу.

Ольферт А.І. вважає, що найбільш важний ефект від введення співливої добавки – це її участь в мезофазних перетвореннях, в оформленні структури коксу. Була висловлена думка, що дія мезогенних добавок ідентична дії добре співливого вугілля марок К та Ж. У зв'язку з цим виникає необхідність використання саме мезогенних добавок при коксуванні шихт з малою участю жирного і коксового вугілля [14].

Добавки органічних речовин у вугільну шихту при їх нагріванні впливають не тільки на пластичні властивості вугілля, а й на їх спікливість. Вплив ще більше підтверджується даними зміни виходу продуктів термічної деструкції вугілля, наприклад, при їх коксуванні. Свого часу в літературі були описані досліди коксування вугілля з добавками до 10 % смоляного пеку, нейтрального масла і стеаринового пеку, а також різної кількості суміші з двох цих речовин [4]. Було встановлено, що при введенні добавки нейтрального масла або стеаринового пеку у вугілля значно збільшується вихід газу, бензолу, етилену і метану. При добавці смоляного пеку значного збільшення зазначених продуктів не спостерігається.

1.6.2 Товарні нафтопродукти як добавка до вугільної шихти

До товарних нафтопродуктів можливо віднести гудрон, газойль, топочний мазут, відпрацьоване машинне масло.

Відомо використання рідинних нафтопродуктів, зокрема гудрону з початковою температурою кипіння 210 °С, в якості нафтової добавки для покращення міцних характеристик металургійного коксу. Проте при змішуванні такої добавки з вугільною шихтою важко отримати однорідну масу.

Ефективним є спосіб підготовки вугільної шихти до коксування, в якому вугілля, збагачене методом масляної агломерації до зольності 4,0-7,6 % (ваг.) і сірчистістю 0,2-0,3 % (ваг.), перемішують з водою та спікливою добавкою (газойль, топочний мазут, відпрацьоване машинне масло) в кількості 10-15 % (ваг.) в диспергаторі зі швидкістю перемішування 1000-1500 об/хв. З наступним сушінням.

Утворені вуглемасляні концентрати з часточками розміром 2-3 мм відділяють на ситі, змішують з іншими марками збагачених вуглемасляних концентратів і коксують. Міцність отриманого коксу в залежності від складу

вугільних шламів складає M_{10} 7,6-8,1 % і M_{40} 82,9-84,5 %. Вихід продуктів коксування: кокс 78,0-79,0 %, смоли 4,48-4,68 %, бензол 1,1-1,2 % [15].

Відомий спосіб отримання нафтового коксу уповільненим коксуванням нафтових залишків в суміші з оксидами металів (наприклад оксидом кальцію) при 450-480 °С, якій містить від 15 до 25 % летких речовин, до 1,53-2,84 % сірки. Нафтовий кокс може бути використовано в якості коксуючої добавки в вугільну шихту.

1.6.3 Використання технологічно отриманих добавок

Пропонується в якості добавки до шихти (Ж:Г = 50:50) динітрил азобізізомасляної кислоти (ДАК), яка спроможна викликати процеси радикальної полімеризації. Так введення 5 % добавки ДАК збільшує товщину пластичного шару з 13 до 15,5 мм, чим збільшує спроможність компонентів шихти спікатися [15].

Відомий спосіб підготовки вугільної шихти до коксування, що включає в себе змішування неспікливих марок ДП чи Т з твердими спікливими органічними добавками (кокс, полукокс, коксовий дрібняк) [7], в кількості 10-15 % (ваг.) та дроблення до крупності 0-1,6 мм. Від вугільної шихти відділяють вугільний пил. Подрібнене неспікливе вугілля обмаслюють сумішшю смолистих відходів та змішують в вугільним пилом у співвідношенні 1:1. Отриманий продукт вводять в шихту і коксують.

У порівнянні з коксом, отриманим при коксуванні шихти з 10-15 % обмасленого пісного вугілля, кокс з шихти, що підготовлена по запропонованому способу, отримують більш якісний: показник стираності M_{10} збільшується на 0,6-2,3 %, міцність M_{25} збільшився на 0,8-1,8 %, міцність пористого тіла збільшилася на 1,91-2,10 %, а насипна щільність зросла до 0,785-0,795 г/м³ [15].

Високі показники якості коксу можна отримати при додавання до вугільної шихти гранульованого кам'яновугільного пеку в кількості 3-12 %.

Отриманий кокс має такі покращення: M_{25} – 87,5 %, «гаряча» міцність – 66,9 %, реакційна здатність 24,5 %, вміст золи – до 9,9 % і сірки – 0,38 % [7]. Кокс за гранулометричним складом дуже рівномірний, практично відсутні класи > 80 мм, що дуже важливо для доменного процесу.

При додаванні до вугільної шихти 21 % суміші кам'яновугільної смоли, в кількості 3 % та вугілля марки КС чи КС+КСН у відношенні 1:6, також можливо збільшити механічну міцність з 83 до 84 %, CSR з 48,5 до 52,0-56,5 %, знизити стиранність коксу M_{10} з 9,1 до 8,0-8,3 % та його реакційну здатність з 33,5 до 30,5-32,2 % [7].

Використання в якості добавки до шихти для коксування бітуминозного залишку, отриманого при термічному крекінгу нафтопродуктів в кількості 10 %, дозволяє отримати кокс з реакційною здатністю 28,7 % і «гарячою» міцністю 65,7 %. При цьому зі шихти, що складається тільки з коксівного вугілля було отримано кокс з реакційною здатністю 33,0 % і «гарячою» міцністю 61,1 % [7].

1.6.4 Використання промислових відходів

Усі промислові відходи можна поділити на відходи нафтопереробної, коксохімічної та хімічної промисловості.

До відходів нафтопереробної промисловості, які можна використовувати в якості спікливих добавок в шихту, належать кислі гудрони, нафтовий шлам, відпрацьовані масла, мастильно-охолоджувальні рідини. Проте ці відходи мають високу ціну і не можуть безпосередньо залучатися в шихту без попередньої очистки від кислих компонентів, що викликають корозію апаратури, та механічних домішок, які збільшують зольність коксу. Тому використанні їх не доцільно.

Вивчена можливість застосування в якості домішки до шихти для коксування різних відходів КХВ (фусів механізованих освітлювачів, кислої смолки сульфатного відділення, полімерів бензолового відділення, кубових залишків

різних сховищ і ін.). При дослідженні впливу фусів встановлено збільшення насипної щільності шихти до 6-7,5 % за участю фусів в кількості 5 %.

Встановлено, що такі продукти як кисла смолка, кубові залишки цеху ректифікації мають поверхнево-активні властивості, а кубові залишки і полімери бензолового відділення містять до 50-75 % неграничних сполук. Ті та інші є ініціаторами реакції конденсації і беруть участь в процесах спікання і коксоутворення. Виявлено, що обмаслювальні домішки до шихти дозволяють збільшити вихід коксу на 0,4-0,5 %, понизити сірчистість на 0,15-0,2 % і зменшити його реакційну здатність.

Дослідження, проведені на ВАТ «Північсталь» з сумісним використанням гасу і емульсії побічних продуктів хімічних цехів при різному їх співвідношенні, показали, що найбільший ефект отриманий при використанні гасу і суміші емульсії з гасом (25 % гасу і 75 % емульсій): збільшення виходу коксу склало 8-9 %. Встановлено, що додавання обмаслювальних добавок до вугільної шихти не робить значного впливу на реакційну здатність, пористість, твердість коксу з деякою тенденцією збільшення структурної міцності коксу. Гас, будучи більшою мірою аліфатичною, ніж ароматичною сполукою, не робить суттєвого впливу на інтенсивність поліконденсаційних процесів продуктів термічної деструкції вугілля і, як наслідок на показники фізико-механічних властивостей пористого матеріалу коксу. В той же час збільшення виходу коксу з шихти за участю гасу пояснюється утрудненою евакуацією парогазових продуктів деструкції при коксуванні ущільнених шихт.

Введення до шихти замасленої прокатної окалини в кількості $\leq 0,5$ % також сприяє покращенню якісних показників міцності косу при незначному збільшенні зольності за рахунок потрапляння в кокс відновленого заліза. Замаслена дрібнодисперсна прокатна окалина є відходом прокатного виробництва.

Добавка замасленої прокатної окалини збільшує насипну масу вугільної шихти за рахунок більшої насипної щільності окалини та за рахунок добавки

масла. Масло є органічною домішкою, що підвищує насипну щільність завантаження внаслідок поверхневого натягу плівкової вологи, що у свою чергу збільшує рухливість вугільних зерен відносно один одного.

Обробка вологих вугільних шихт органічними рідинами (відходами коксохімічного виробництва, продуктами переробки нафти, кам'яновугільної смоли й ін.), навіть при незначному вмісті їх у шихті (0,1-0,5 %), дозволяє підвищити насипну щільність вугільного завантаження при вільній її засипці в піч на 6-10 % і поліпшити якість коксу. Так, в умовах КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» ефективно працює установка по обмаслюванню відпрацьованими моторними маслами вугільних концентратів.

Кокс за участю вугільної шихти що містить органічну домішку, характеризується меншою стираністю й більшою міцною, щільною й твердою структурою.

1.7 Описуючі добавки в шихту

В якості описуючих добавок в шихту використовувались коксова дрібниця, коксовий пил, напівкокс, антрацит. Нафтококс дрібниця, пісне вугілля.

Для одержання високоякісного коксу домішки повинні мати наступні властивості:

- оптимальну адсорбційну здатність;
- значне змочування рідкими продуктами пластичної маси;
- розвитку зовнішню поверхню, здатну до утворення міцних адгезійних зв'язків;
- коксовий дріб'язок повинен мати оптимальну гранулометрію, дуже тонку.

Показник M_{10} погіршується тим сильніше, ніж крупніше домішка.

Оптимальною вважають домішку зі вмістом класу 0,5 мм у середньому 90 % або класу 0,1 мм 80 % [1].

Таким чином, включення до складу вугільної шихти підвищеної спікливості для коксування пісних добавок позитивно впливає на процес коксування. Збільшується вихід і поліпшується якість металургійного коксу, розширюється сировинна база коксування завдяки заміні дефіцитного дорогого вугілля на менш коштовне - газове.

На Донецьком КХВ успішно працювала промислова установка для обробки вугільного пилу, що забезпечує рівномірну подачу сухого пилу та обмаслюючих добавок, якісне перемішування, пресування суміші й присадку її до висушеної шихти.

При сушінні шихти до вологості 7 % виділяється 3,7-4,1 % пилу [6]. Продуктивність установки 5-15 т/год.

На кожний відсоток зниження вологості шихти в межах 10,1 до 7 % разове завантаження нормально працюючих коксових печей вугіллям збільшується на 1,26 %. При цьому період коксування зменшується на 0,84 % при незмінній витраті тепла; продуктивність печей збільшується на 2,1 % [6]. При обмаслюванні та пресуванні пилу разове завантаження коксових печей додатково збільшується на 1,5 %. Зниження вологості шихти сприятливо позначається на якості коксу: показник M_{40} збільшився на 0,6-0,7 %, вихід коксу класу > 80 мм зменшився на 4,9 %, а вихід класу 60-40 мм збільшився на 2,1 % [6].

Багатьма дослідниками перевірено і доведено ефективність заміни вугілля марки ПС опіснюючими неспікливими домішками (дріб'язок коксу та напівкоксу, колошниковий пил, пил УСГК, пісне вугілля, антрацити).

Для вивчення впливу неспікливих домішок на пластичну масу були проведені дослідження (табл. 1.8) [7].

Таблиця 1.8

**Результати пластометричних випробувань суміші вугілля марки К
с неспікливими домішками**

Склад суміші, %	Пластометричні показники, мм			Адсорбційна здатність домішки по бензолу, мг/г	Ступінь подрібнення домішок по вмісту (%) класів, мм		
	розрахункові	фактичні			1-0,5	0,5-0,25	<0,25
	у	х	у				
К 100	-	20	22	-	50,0	19,0	31,0
К 80,П 20	18	8	18	0,92	52,0	18,5	29,5
К 80,ПС 20	19	4	19	1,74	48,0	20,0	32,0
К 80,А 20	18	12	18	0,16	54,0	17,5	28,5
К 80,ВТК _г * 20	18	16	18	0,44	49,5	18,5	34,0
К 80,кок. дрібняк 20	18	14	18	0,24	51,5	17,5	31,0

К 80,ВТК_г* - високотемпературний кокс з газового вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Була взята марка вугілля К, до неї додавалися різні неспікливі домішки в об'ємі 25 % від заміряного (табл. 1.9) [7].

Як бачимо з наведених даних, зміна адсорбційної здатності присадок у межах 0,24-0,44 мг/г практично не приводить до сорбції значної кількості рідких продуктів.

Проведені коксування шихт із домішками коксового дріб'язку підтверджують це. Пісні добавки не утворюють міцних хімічних зв'язків при спіканні, а спікаються пластичною масою.

Таблиця 1.9

Склад дослідних шихт і якість коксу

№ п/п	Склад шихти, %				Домішка понад 100 %	Міцність коксу за малим барабаном	
	Г	ЖЖ	КК	ППС		M ₄₀	M ₁₀
11	225	335	220	020	-	78,1	8,7
22	245	328	216	011	11, пісне вугілля	77,9	9,1
33	245	328	216	011	11, високотемпературний кокс з газового вугілля (ВТК _г)	78,7	16,9
54	245	328	216	011	11, коксовий дріб'язок	81,1	17,8
75	245	328	216	011	4, пісне вугілля	79,8	10,5
86	245	328	216	011	4, коксовий дріб'язок	79,9	10,3

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Для одержання однакової крупності та міцності коксу необхідно неспікливі вугільні зерна дробити значно менше, чим коксовий дріб'язок. При рівному подрібненні кокс із шихти з домішкою пісного вугілля виходить менш крупний і менш міцний, чим із шихти з домішкою коксового дріб'язку. Аналізуючи наведені дані можна затверджувати, що добавка коксового дріб'язку сприяє більшій міцності коксу, що можна пояснювати тим, що він краще змочується рідкими продуктами пластичної маси і утворює більше міцний зв'язок з основною масою коксу.

Якісна характеристика пісних домішок наведена в таблиці 1.10 [7].

Як видно з таблиці 1.3, кокс із шихт, за участю коксового дрібняку, по крупності краще. Міцність коксу за малим барабаном також більше.

Таблиця 1.10

Якісна характеристика описаних добавок

Добавка	Ступінь подрібнення (%) по вмісту класів, мм						Якість домішок, %		Адсорб. здатність добавки мг/г
	>3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	A ^c	V ^r	
ВТК високотемпературний кокс з газового вугілля	-	9,0	18,0	25,0	22,8	25,2	11,0	2,3	0,44
Коксовий дрібняк	-	8,0	19,0	20,6	14,3	38,1	9,6	1,6	0,24
Пісне вугілля	-	-	13,3	39,2	24,4	23,1	5,7	10,6	0,92

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Кількість тріщин, що утворюються в процесі коксування шихт за участю пісних добавок, значно менше.

Це можна пояснювати так. Введення пісних добавок коксового дрібняку знижує плинність пластичної маси та підвищує її в'язкість.

Це сприяє тому, що при затвердінні утворюється менш тверда структура, яка володіє більшою схильністю до релаксації напруг, що виникають при усадці. Релаксація - поступове падіння напруг при постійній початковій деформації внаслідок переходу пружної деформації в пластичну.

Таким чином, подання до вугільної шихти домішок вугільного і коксового шламу сприяє меншому тріщино утворенню коксу.

Один зі шляхів утилізації коксового пилу можна вважати подачу її в шихту. Дозування пилу в процесі коксування проводили з бункера, змонтованого над конвеєром, який подає шихту у дробарне відділення. Дослідження показали, що ефективним є добавка в шихту 1 % коксового пилу.

1.8 Висновки до аналітичної частини

В аналітичній частині розглянуто матеріал стосовно застосування неспікливих мінеральних добавок у вугільній шихті, що дає можливість, в умовах обмеженості сучасної сировинної бази, збільшити у складі вугільної шихти частку газового вугілля та зменшити частку жирного вугілля.

Впровадження технології вдування пиловугільного палива (ПВП) вимагають використання низькорекційного високоміцного коксу ($M_{25} > 88 \%$, $M_{10} < 7,5 \%$, $CRI < 35 \%$, $CSR > 55 \%$).

Визначено, що властивості коксу доцільніше покращити добавкою неспікливих та пісних добавок в вугільну шихту таких як:

- неорганічні добавки: оксиди, карбонати, карбіди і ін.,
- опіснюючі добавки: антрацит, напівкокс, коксовий дрібняк і пил.

Зокрема визначено:

- показники CSR та CRI можна покращити додаванням апатиту, плагіоклазу, ортоклазу, мусковіту, оксиду алюмінію, каоліну і кварцу;
- погіршують ці показники (підвищують реакційну здатність і знижують міцність коксу після реакції) пірит, сидерит, гематит, боксит, кальцит, гіпс, вапно і магнезія;

Для виробництва спеціальних видів коксу ефективно додавання до вугільної шихти таких добавок, як:

- металовмісні добавки (руди, колошниковий пил, рудні концентрати, магнетит) для одержання залізококса; визначено, що присутність залізовмісного компонента в шихтах для коксування може бути використано як замітник пісних компонентів;
- мікропорошки карбіду кремнію (об'ємно-модифікуючі присадки); при добавці 0,5 % за масою спостерігається зниження показника CRI на 6,9 % та підвищення показника CSR на 11,3 %.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування використання твердих добавок для отримання високоякісного коксу та покращення умов експлуатації коксових печей

Для отримання високоякісного коксу і забезпечення прибутковості роботи коксохімічних підприємств вугільна шихта має містити не менше 50 % коксового вугілля. Але це вугілля, як і піснувато-спікливе, що також є невід'ємним компонентом шихти, розвиває при коксуванні великий тиск розпирання (10-20 кПа). При складанні шихт необхідно уникати розвинення при коксуванні надмірного тиску розпирання, величина якого не є адитивною. Це особливо важливо у нинішній час, для якого характерні непередбачувані зупинки видобутку та значні складнощі в транспортуванні вугілля. В свою чергу, це призводить до частих та суттєвих змін у складах та властивостях шихт для коксування.

Тому, для отримання доменного коксу з необхідними якісними показниками, за наявної вугільної бази, коксохіміки розробляють і використовують різні способи та прийоми, що дозволяють поліпшити ті чи інші параметри його якості. До одних з таких способів відноситься цілеспрямоване регулювання якості коксу шляхом введення до вугільної шихти неспікливих добавок: коксового пилу та дріб'язку, антрациту, напівкоксу, а також неорганічних добавок (дрібнодисперговані оксиди титану, залізу та алюмінію) [7].

Особлива увага приділяється щодо можливості застосування мікропорошків карбіду кремнію, як добавок до вугільних шихт для виробництва доменного коксу.

2.2 Вплив мікропорошків карбіду кремнію на якість доменного коксу

В роботі [7] проведено вивчення впливу коксового дрібняку на тиск розпирання. Показано, що ця добавка є досить ефективним засобом зниження тиску розпирання як насипних, так і трамбованих шихт. Добавка коксового дрібняку ($< 3,0$ мм) в насипну шихту в кількості до 3,0 % дозволяє знизити тиск розпирання на 12-15 %. На таку ж величину знижується тиск розпирання і трамбованих шихт. При додаванні тонко подрібненого ($< 0,25$ мм) коксового дрібняку в трамбовану шихту в кількості до 7,0 % тиск розпирання знижується на 45-46 %. Аналогічні результати досягаються при додаванні в шихту коксового пилу, який має близький гранулометричний склад ($100 \% < 0,25$ мм). Перевагою цього рішення у порівнянні зі збільшенням вмісту в шихті газового вугілля є значно менша кількість добавки, що додає можливість практично зберегти спікливі властивості шихти, а також дещо збільшити вихід цільового продукту (коксу).

Ще одним напрямком модифікації властивостей шихт шляхом спрямованого впливу на фізико-хімічні процеси термічної деструкції компонентів вугільної шихти для отримання коксу з поліпшеними термохімічними властивостями пропонується, базуючись на даних досліджень О.І. Зеленьського, репрезентованих в роботі [16], введення мікропорошку карбіду кремнію чорного у вугільну шихту для коксування.

Для досліджень використовували мікропорошок карбіду кремнію чорного марки 53С. Попередньо карбід кремнію подрібнювали у вібромліні протягом 2 годин до розміру часток ≤ 12 мкм. Отриманий вібромелений порошок карбіду кремнію додавали до вугільної шихти у кількості 0,25–1,0 мас. % шляхом механічного змішування. Властивості шихти та марочний склад наведені у таблиці 2.1 [16].

Таблиця 2.1

Характеристика експериментальної вугільної шихти

Марочний склад, %				Технічний аналіз, %				Ступінь подрібнення (вміст класу 0-3 мм), %
К	Ж	Г	ПС	Волога, W_t	Вихід летких речовин, V^{daf}	Зола, A^d	Сірка S_t^d	
28	25	37	10	10,2	29,4	7,8	1,12	75,5

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [16]

Вугільну шихту з добавками мікропорошку карборунду завантажували в металеві перфоровані ящики розміром 200×200×320 мм, маса завантаження 8 кг і коксували у промисловій печі на батареї № 7 ПАТ «АЛЧЕВСЬККОКС». Період коксування становив 15 годин 45 хв. Після завершення процесу коксування ящики вивантажувалися разом з основною масою коксу для мокрого гасіння і далі витягувалися з рампи.

Отримані таким чином кокси досліджувалися за показниками якості коксу реакційну здатність (CRI) і міцність коксу після реакції з CO₂ (CSR) за ДСТУ 4703:2006. Результати досліджень наведені в таблиці 2.10 [16].

Проаналізувати зміну якості коксу при добавці до вугільної шихти мікропорошку карборунду можливо за діаграмами на рисунках 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.2

Показники CRI / CSR отриманих коксів

№	Вміст мікропорошку, %	CRI, %	CSR, %
1	0	44,3	29,6
2	0,25	38,8	37,8
3	0,5	37,4	40,9
4	1	41,7	28,1

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [16]

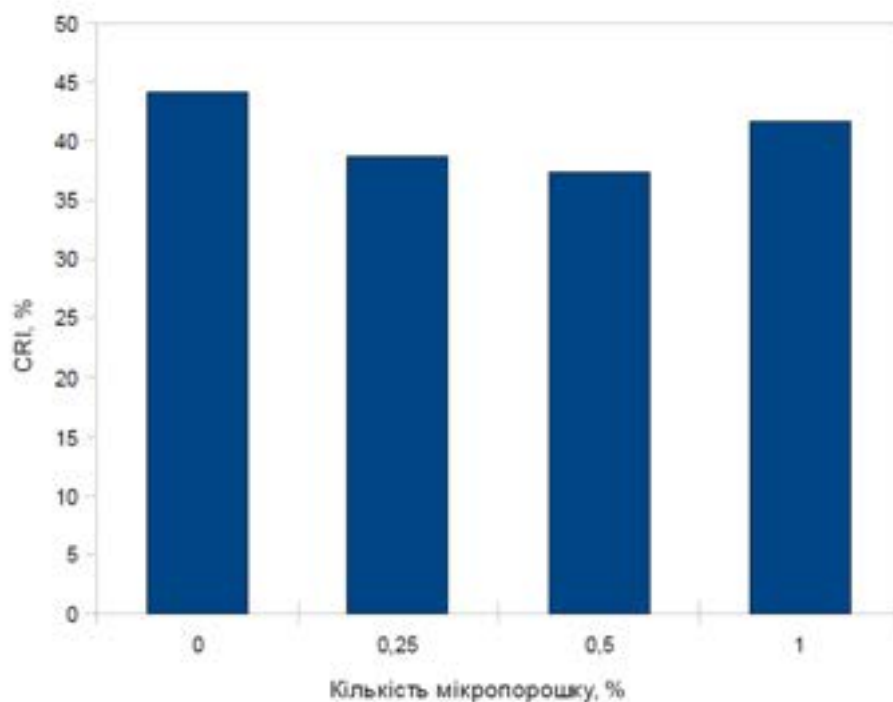


Рис. 2.1. Залежність зміни показника CRI від кількості карборундового мікропорошку

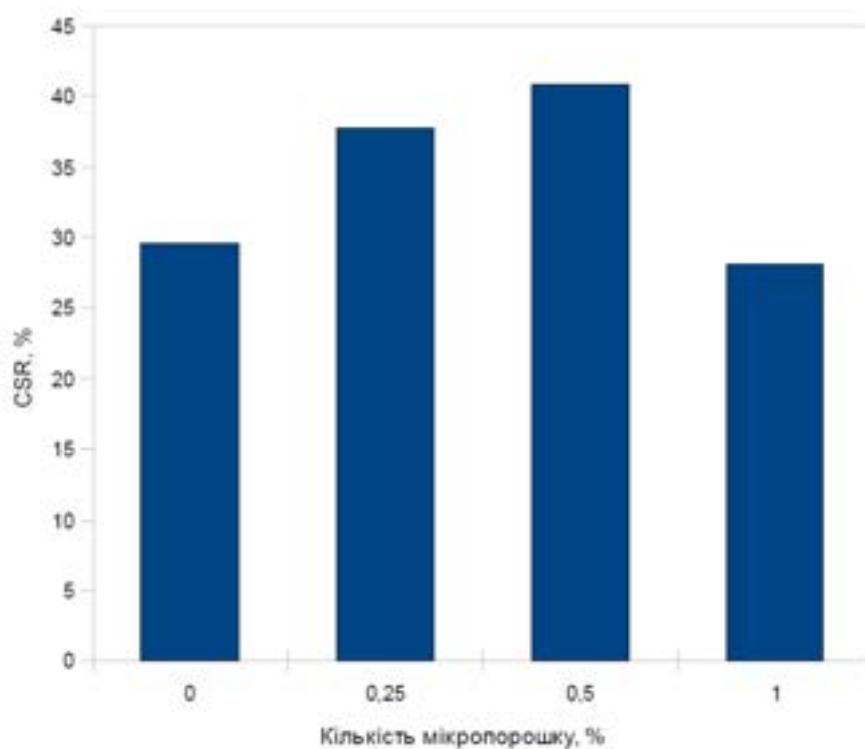


Рис. 2.9. Залежність зміни показника CSR від кількості карборундового мікропорошку

Таким чином, проведені дослідження показали, що оптимальна кількість добавки мікропорошку карбіду кремнію чорного у вугільну шихту становить 0,5 % за масою.

В умовах ПАТ «Авдеєвський коксохімічний завод» на коксовій батареї №1 співробітниками ДП «УХІН» також були проведені дослідні коксування, спрямовані на дослідження модифікації вугільної шихти шляхом додавання до її складу корундових матеріалів. В якості дослідної шихти була відібрана виробнича шихта ВПЦ-1. В якості добавок використовували кристалічні порошки оксиду алюмінію (корунду) та карбіду кремнію з різним рівнем подрібнення (мікронністю). Добавки вносили в кількості 0,25-0,5 % шляхом механічного перемішування добавки з наважкою шихти для ящичного коксування (8 кг). Отриманні кокси досліджували за основними фізико-хімічними показниками для визначення оптимального рівня та типа добавки. Кращі показники якості коксів були отримані при добавці $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ та $\alpha\text{-SiC}$ в кількості 0,25 %. В таблиці 2.2 можна проаналізувати зміну якості коксу при добавці до вугільної шихти мікропорошків карборунду та карбіду кремнію. В таблиці 2.3 приведені якісні показники дослідного коксу.

Таблиця 2.2

Зміна показники CRI / CSR отриманих коксів

№	Типи добавок	Вміст мікропорошку, %	ΔCRI , %	ΔCSR , %
1	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (<80 мкм)	0,25	-4,1	+ 5,5
2	$\alpha\text{-SiC}$ вібропомелений (<12 мкм)	0,25	-3,7	+ 6,1
3	$\alpha\text{-SiC}$ (<150 мкм)	0,25	- 5,2	+ 6,2

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [16]

Таблиця 2.3

**Якісні показники дослідного коксу при додаванні 0,25 %
мікропорошку карбіду кремнію у вугільну шихту**

Період	Якісні показники		Δ CSR, %	Δ CRI, %
	Міцність коксу після реакції (CSR), %	Індекс реакційної здатності (CRI), %		
Базовий	29,6	44,3	0	0
Дослідний	35,7	40,6	+6,1	-3,7

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [16]

Як бачимо при додаванні 0,25 % мікропорошку карбіду кремнію у вугільну шихту спостерігається зниження показника CRI на 3,7 % та підвищення показника CSR на 6,1 %.

У відповідності до методики пофакторного аналізу, наведеній у документі “Доменные печи. Нормативы расхода кокса. Руководящий документ. ООО “Метинвест Холдинг. 2015 г.” підвищення показника CSR на кожен 1 % знижує витрату коксу в доменній плавці на 0,54 % і підвищує продуктивність доменної печі на 0,49 %.

Додавання мікропорошку у кількості 1 % починає призводити до погіршення показників коксу CRI/CSR, а також відчутно збільшувати його зольність, що також негативно позначається на якості доменного коксу. Передбачається, що зерна мікропорошку карбіду кремнію, які рівномірно розподілені по всьому об'єму вугільної шихти, виступають в якості «зародків» кристалізації в рідиноподвійній вугільній масі (при 400-500 °C) на стадії пластичного стану, тобто ініціюють утворення в коксі додаткових анізотропних (високовпорядкованих) ділянок, що відрізняються низькою реакційною здатністю.

Таким чином:

- при додаванні 0,25 % мікропорошку карбіду кремнію у вугільну шихту спостерігається зниження показника CRI на 3,7 % та підвищення показника CSR на 6,1 %;

- введення добавки коксового дрібняку ($< 3,0$ мм) в насипну шихту в кількості до 3,0 % дозволяє знизити тиск розпирання на 12-15 %, зберегти спікливість та збільшити вихід коксу;

- застосування опіснюючих домішок дає можливість знизити витрату дефіцитного вугілля і збільшити крупність коксу без подовження періоду коксування.

Згідно теми кваліфікаційної роботи, для отримання високоякісного коксу пропонується додавати до обраного складу шихти кристалічні (α -модифікація) порошки оксиду алюмінію (корунд) і карбїду кремнію з різним рівнем подрібнення (30-100 мкм) в кількості 0,25-0,5 % (по масі) в залежності від властивостей шихти шляхом механічного перемішування присадки, зменшуючи вміст вугілля марки Ж. Це обґрунтовано тим, що збільшений вміст у складі шихти жирного вугілля викликає додаткову тріщинуватість коксу.

Крім того, коксове вугілля може розвивати небезпечно високий тиск розпору до 33,0 кПа з урахуванням того, що конструкції обігрівальних простінків коксових батарей розраховані на нормальний тиск 7 кПа [5]. Для зниження тиску розпору в роботі пропонується зменшення частки вугільних концентратів «К» ЦЗФ Свято-Варваринська (тиск розпору становить 25-33 кПа), «К» ЦЗФ Узловська (тиск розпору становить 12-25 кПа) та введення 3 % коксового дріб'язку. Обраний базовий склад вугільної шихти складається з:

- 62 % добреспікливого вугілля (К+Ж+ККЖ+2Ж);
- 38 % слабоспікливого (Г+ГЖ+ ПСКС).

У таблиці 2.4 представлено для порівняння базовий та дослідний склад шихти з добавкою порошків оксиду алюмінію, карбїду кремнію та коксового дріб'язку.

Таблиця 2.4

Характеристика базового та дослідного складу вугільної шихти

Марка	ЦЗФ	Базовий склад, %	Дослідний склад з добавкою порошоків оксиду алюмінію та карбіду кремнію, %
К	Свято-Варваринська	22	18
2Ж	Печорська	10	5
Ж	Краснолиманська	12	12
К	Узловська	10	10
Г	Жовтнева	20	24
ККЖ	Східна	8	8
ГЖ	Ігл	8	9
ПСКС	Сибір	10	10,5
Коксовий дріб'язок		-	3
Порошки оксиду алюмінію та карбіду кремнію		-	0,25
Шихта		100	100

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Дослідний склад шихти складається з:

- 53 % добреспіктивного вугілля (К+Ж+ККЖ+2Ж);
- 43,5 % слабоспіктивного (Г+ГЖ+ПСКС);
- 0,25 % порошоків оксиду алюмінію та карбіду кремнію та 3 % коксового дріб'язку.

Тобто заощаджуємо добре спікливе жирне вугілля.

Дослідна шихта у порівнянні з базовою має:

- марки 2Ж (виведено 5 %);
- марки К (виведено 4 %);

Та більше слабоспіктивного та газового вугілля:

- на 1 % більше марки ГЖ;
- на 4 % більше вугілля марки Г;
- на 0,5 % більше марки ПСКС.

2.3. Висновки до основної частини

Встановлено, що введення об'ємно-модифікуючих добавок (мікропорошки $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ та $\alpha\text{-SiC}$) в певних концентраціях (у більшості випадків до 0,25-0,5 %) дозволяє впливати на процеси, що протікають на стадії пластичного стану для поліпшення міцних властивостей коксу [7].

Вплив певного типу присадки на якість коксу істотно залежить від марочного складу шихти.

Зерна мікропорошків, рівномірно розподілені по всьому об'єму вугільної шихти, виступають в якості «зародків» кристалізації в рідинно-рухомій вугільної масі (при 400-500 °C) на стадії твердіння пластичного стану, тобто ініціюють утворення в коксі додаткових анізотропних (високо впорядкованих) ділянок, що відрізняються низькою реакційною здатністю.

Внесення присадок в шихту можна здійснювати за допомогою шнекового живильника, що подає дозовану кількість присадки (0,25 %) на стрічковий конвеєр з вугільною шихтою. Живильник має бути встановлений на ділянці перед дробаркою остаточного дроблення шихти (< 3 мм). У такому випадку ця дробарка буде одночасно виконувати роль змішувача, тому що однією з умов отримання висо-коякісного коксу за допомогою присадок є їх рівномірний розподіл у всьому обсязі вугільної шихти.

ВИСНОВКИ

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи розглянуто основні аспекти застосування неспікливих добавок у виробництві коксу та можливість їх використання для оптимізації властивостей вугільної шихти, з метою умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу. Аналітичний огляд літературних джерел показав принципову можливість розширення сировинної бази коксування за рахунок використання неорганічних твердих добавок. З технологічної точки зору цей метод найбільш простий і ефективний, так як при його реалізації не потрібно реконструкції вуглепідготовчого цеху і, отже, додаткових капітальних вкладень в коксохімічну промисловість.

1. Проаналізовано питання щодо доцільності застосування неспікливих мінеральних добавок у шихті для коксування. Зокрема визначено:

- показники CSR та CRI можна покращити додаванням апатиту, плагіоклазу, ортоклазу, мусковіту, оксиду алюмінію, каоліну і кварцу;
- погіршують ці показники (підвищують реакційну здатність і знижують міцність коксу після реакції) пірит, сидерит, гематит, боксит, кальцит, гіпс, вапно і магнезія;

2. Запропоновано додавати 0,25 % порошоків оксиду алюмінію та карбїду кремнію та 3 % коксового дріб'язку, це дозволить зменшити участь у складі шихті вугілля марки Ж з 10 % з 5 % та марки К з 22 % до 18 %. Використання добавки коксового дрібняку у кількості до 3 % дозволить знизити тиск розпору на 12-15 %.

3. Встановлено, що введення об'ємно-модифікуючих добавок (мікропорошки $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ та $\alpha\text{-SiC}$) в певних концентраціях (у більшості випадків до 0,25-0,5 %) дозволяє впливати на процеси, що протікають на стадії пластичного стану для поліпшення міцних властивостей коксу. Зерна мікропорошків, рівномірно розподілені по всьому об'єму вугільної шихти, виступають в якості «зародків» кристалізації в рідинно-рухомій вугільній масі

(при 400-500 °С) на стадії твердіння пластичного стану, тобто ініціюють утворення в коксі додаткових анізотропних (високо впорядкованих) ділянок, що відрізняються низькою реакційною здатністю.

4. Тверді добавки (в твердому гранульованому вигляді) повинні завантажуватися за допомогою шнекового живильника, що подає дозовану кількість присадки (0,25 %) на стрічковий конвеєр з вугільною шихтою. Живильник має бути встановлений на ділянці перед дробаркою остаточного дроблення шихти (<3 мм). У такому випадку ця дробарка буде одночасно виконувати роль змішувача, тому що однією з умов отримання високоякісного коксу за допомогою присадок є їх рівномірний розподіл у всьому обсязі вугільної шихти. Тим самим домішка буде проходити весь технологічний процес підготовки до коксування разом з вугіллям, забезпечуючи краще змішання компонентів і однорідність шихти.

5. Тверді мінеральні добавки сприяють спіканню слабоспікливого нізкометаморфізованого вугілля марок Г, так як надають стабілізуючий вплив на реакційну здатність їх пластичної маси, знижуючи її.

6. Для споживачів доменного коксу впровадження запропонованої технології дозволить покращити якість коксу за наступними показниками:

- збільшився показник «гарячої» міцності CSR на 6,1 % (відн.);
- зменшився показник реакційної здатності CRI на 3,7 % (відн.).

Запропоновані в роботі дослідницькі рішення забезпечать:

- збільшення продуктивності доменної печі;
- зниження витрати коксу в доменних печах.

Так, підвищення показника CSR на кожен 1 % знижує витрату коксу в доменній плавці на 0,54 % і підвищує продуктивність доменної печі на 0,49 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мукіна Н.В., Мірошніченко Д.В. Сировинна база КХВ ПАТ «АРСЕЛОРМІТ-ТАЛ Кривий Ріг» у період з 2017 по 2021 рік. *Вуглехімічний журнал*. 2021. № 4. С. 4-9.
2. Дроздник І.Д., Мірошніченко Д.В., Ладижинський В.М. Удосконалення схем підготовки вугілля в умовах міжбасейнової сировинної бази коксування. *Вуглехімічний журнал*. 2010. № 3–4. С. 17–24.
3. Попов Є.С., Гаврилюк В.І., Мукіна Н.В., Ковальов Є.Т., Дроздник І.Д., Бідоленко Н.Б. Міжбасейнова сировинна база коксохімічного виробництва України: проблеми формування шихт, їх підготовки та коксування. *Вуглехімічний журнал*. 2018. № 5. С. 3–6.
4. Дроздник І.Д., Романюк І.В., Мірошніченко Д.В., Сікан І.І., Мукіна Н.В., Селін С.С. Особливості формування та перспективи розвитку вугільної сировинної бази коксохімічного виробництва КХП ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». *Вуглехімічний журнал*. 2016. № 3–4. С. 12–18.
5. Мукіна Н.В., Черноусова О.П., Кузніченко В.М., Ситник О.В. Досвід впровадження лабораторної установки для визначення тиску розпирання вугілля та шихт на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». *Вуглехімічний журнал*. 2016. №3-4. С. 3-10.
6. Мірошніченко Д.В., Шмельцер К.О., Кормер М.В., Ситник О.В., Авдіюк І.М. Аспекти впливу на величину тиску розпирання вугільної шихти та металургійні властивості коксу. Повідомлення 1. Формування тиску розпирання в залежності від властивостей вугільних концентратів. *Вуглехімічний журнал*. 2024. №5. С.38-48
7. Зеленський О.І. Сучасні напрями використання неспікливих добавок у виробництві коксу. *Вуглехімічний журнал*. 2013. № 3–4. С. 21–28.
8. Ruschev D.D., Petrinski V.R. Organic additives to coal blends for increasing bulk density and improving coke quality. *Coke and Chemistry*. 1988. No. 7. P. 24–27.

9. Grigorov A.B., Zelenskyi O.I. Caking organic additives to coking blends (Review). *Coke and Chemistry*. 2013. No. 7. P. 27–32.
10. Trifanov V.I., Gorshkov P.G., Belyanichev A.N. Features of coke production from coal blends containing organic additives. *Coke and Chemistry*. 2007. No. 6. P. 23–31.
11. Glushchenko I.M., Dolgikh A.G. Influence of petroleum products on the formation of coke properties from weakly caking and non-caking coals. *Coke and Chemistry*. 1990. No. 1. P. 15–18.
12. Olfert A.I., Fesenko Yu.A., Biryukov Yu.V. Effect of hydrocarbon substances on the yield and properties of thermal decomposition products of caking coals. *Coke and Chemistry*. 1986. No. 11. P. 9–13.
13. Taitis E.M., Olfert A.I. Role of mesogenic additives in coke structure formation. *Coke and Chemistry*. 1987. No. 12. P. 22–25.
14. Рафальський П.М., Шульга А.А., Репка Л.В., Безсмертна В.І., Римарчук Л.А. Комплексне дослідження впливу добавок кам'яновугільного пеку на якість вугільних шихт і коксу. *Вуглехімічний журнал*. 2010. № 5–6. С. 11–14.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

161-01д-3

Автор

161-01д-3

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ID документа

334137228

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Надсилена

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

3BIT

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

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.



8379

Кількість слів



64143

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати намісний 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		0
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		47

Джерела

Нижче наведеній список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копія 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

Копія тексту

НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ) КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИФІКОВАНИХ СЛІВ (ПІРАГІЗМІВ)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- ☒ кваліфікаційної роботи;
- ☐ навчальної/наукової праці;
- ☐ наукових матеріалів

*Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного
коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

ПАВЛОВ Дмитро Валерійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 60 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 8,32 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
- ☒ термінологією;
- ☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
- ☐ посиланнями на законодавство;
- ☒ загальновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Павлов Дмитро Валерійович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками

Керівник кваліфікаційної роботи: зав. каф., 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.	зараховано			
2	Основна частина	Шмельцер К.О.	зараховано			

Зав. кафедри

(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача

Павлова Дмитра Валерійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка

таблиць

схем і рисунків

листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)

-.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню якості доменного коксу та розширенню сировинної бази коксування в умовах дефіциту високоякісного спіктивного вугілля. Актуальність теми зумовлена необхідністю зниження залежності коксохімічних підприємств від дефіцитних марок вугілля, підвищення ефективності використання вугільної сировини та забезпечення стабільної роботи коксових батарей. До основних переваг роботи слід віднести: актуальність та практичну спрямованість тематики дослідження; ґрунтовний аналіз сучасних наукових джерел; науково обґрунтоване пояснення механізму впливу неспікливих добавок на процеси коксоутворення; розроблення практичних рекомендацій щодо формування складу шихти та введення добавок; наявність прогнозової оцінки впливу запропонованих рішень на показники CSR і CRI та ефективність доменного виробництва.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

У роботі недостатньо детально розглянуто економічні аспекти впровадження запропонованих рішень та можливий вплив добавок на інші технологічні показники процесу коксування. В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий та некоректний переклад.

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

Здобувач Павлов Д.В. під час написання кваліфікаційної роботи бакалавра показав добру загальну та спеціальну підготовку. Під час виконання роботи здобувач продемонстрував уміння працювати з науково-технічною літературою, аналізувати та узагальнювати інформацію, робити обґрунтовані висновки та формулювати практичні рекомендації. Поставлені завдання виконані у повному обсязі, а отримані результати мають наукове та практичне значення для коксохімічної галузі.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота виконана на актуальну тему, характеризується практичною спрямованістю, містить обґрунтовані технологічні рішення та має наукову і прикладну цінність.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра добре/78/С

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав.кафедри, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« 12 » червня 2026 р.

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

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(бакалавра, магістра)
Здобувача Павлова Дмитра Валерійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ЗХТ-22
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Розробка методу модифікації властивостей вугільних шихт та створення оптимальних умов експлуатації коксових печей шляхом добавки карбіду кремнію (α -SiC) та оксиду алюмінію (α -Al ₂ O ₃)
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Кваліфікаційна робота присвячена аналізу застосування неспікливих добавок для регулювання властивостей вугільних шихт і підвищення якості доменного коксу. Актуальність дослідження обумовлена погіршенням сировинної бази коксування, зростанням вимог до якості коксу та необхідністю зниження тиску розпирання під коксування для забезпечення надійної роботи коксових батарей.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Обмежено розглянуто технологічні ризики промислового застосування. Не достатньо висвітлено можливий вплив мінеральних добавок на зольність коксу, склад доменного шлаку, експлуатаційні показники доменного процесу та екологічні виробництва. В деяких місцях пояснювальної записки допущені помилки та в оформленні та неточність перекладу.
Рекомендації: робота виконана на актуальну тему, має практичну цінність, містить обґрунтовані результати і рекомендації, а зазначені недоліки не мають принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку. Робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

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

Я, *Павлов Дмитро Валерійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

12.06.2026