

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	<u>Навчально-науковий технологічний інститут</u>
Кафедра	<u>Металургійних технологій</u>
Спеціальність	<u>136 – Металургія</u>
Форма навчання	<u>Заочна</u>

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

МАНЬКО КАТЕРИНА АНАТОЛІВНА

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

на тему Дослідження процесів горіння в агломераційному шарі з метою покращення умов аглопроцесу  
*(повна назва теми)*

за матеріалами металургійних підприємств України і Європи  
*(повна назва бази дослідження)*

науковий керівник

к.т.н., доцент  
*(наук. ступінь, вчене звання)*


  
*(підпис)*

Коренко М.Г.  
*(прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри  
від 12.06. 2025 р. № 12

Завідувач кафедри

  
*(підпис)*

д.т.н., професор  
*Наук. ступінь, вчене звання*

Д.О. Кассім  
*Ініціали, прізвище*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра металургійних технологій

Рівень вищої освіти  
Спеціальність

перший (бакалаврський)  
136 – Металургія  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

  
(підпис)

проф. Д.О. Кассім  
(посада, вчене звання,  
прізвище ініціали)

« 04 » квітня

20 25 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)**

МАНЬКО КАТЕРИНА АНАТОЛІВНА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра:

Дослідження процесів горіння в агломераційному шарі з метою  
покращення умов аглопроцесу

керівник кваліфікаційної роботи Коренко Марина Георгіївна, к.т.н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 04.04.2025 №241-ск

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 07.06.2025

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти,  
промислові дослідження

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


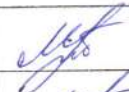



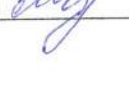
4.1. Аналітична частина: дослідження впливу деяких параметрів на  
повноту згоряння агломераційного палива; аналіз реакційної здатності та  
горючості агломераційного палива

4.2. Основна частина: дослідження особливостей горіння в шарі, що  
агломерується; особливості горіння частинок твердого агломераційного  
палива при заміні коксового дріб'язку іншими видами палива

4.3. Охорона праці: розглянути основні небезпечні та шкідливі чинники у  
агломераційному цеху, розглянути методи боротьби з ними.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічний матеріал повинен в повній мірі відповідати темі диплому та відобразити його суть та запропоновані проектні рішення

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Коренко М.Г., доцент		
2 Основна частина	Коренко М.Г., доцент		
3 Охорона праці	Коренко М.Г., доцент		


7. Дата видачі завдання *04 квітня 2025*


## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	11.04.25	
2.	Основна частина	18.04.25	
3.	Охорона праці	25.04.25	
4.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.25	
5.	Виконання графічної частини	16.05.25	
6.	Подання роботи до кафедри	07.06.25	
7.	Захист роботи в ЕК		

Студент

Керівник кваліфікаційної роботи

  
 \_\_\_\_\_  
 (підпис)

  
 \_\_\_\_\_  
 (підпис)

Манько К.А.  
 (прізвище та ініціали)

Коренко М.Г.  
 (прізвище та ініціали)

**ВІДОМІСТЬ** дипломної роботи бакалавра  
(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. лис- тів	№ екз	Примітка
			<u>Документація загальна</u>			
1	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.ПЗ	Пояснювальна записка	56		
			Слайди			
2	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.01	Зміна складу газу за товщиною активної зони в шарі інертного матеріалу	1		
3	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.02	Зміна складу газу по товщині активної зони залежно від вмісту вуглецю в рудній шихті.	1		
4	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.03	Залежність складу газу і температури від часу в активній зоні під час агломерації магнетитового концентрату з твердим паливом.	1		
5	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.04	Схема експериментальної установки для вивчення процесу горіння коксового дріб'язку в умовах агломерації	1		
6	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.05	Технологічний аналіз дослідних сортів палива	1		
7	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.06	Залежність тривалості горіння т паливних частинок крупністю 3-5 (а), 2-3 (б) і 1-2 мм (в) від початкової температури середовища	1		
8	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.07	Вплив виду палива і початкової температури середовища на ступінь вигорання паливних частинок	1		

ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Відомість випускної роботи бакалавра	Літ.		Лист	Листів
						Д	Т	1	1
Розробив		Манько К.А.		07.06.15		ННТІ ДУЕТ каф. Металургійних технологій гр. ЗМЧМ-22ск			
Керівник		Коренко М.Г.		07.06.15					
Н.контр.		Кассім Д.О.		07.06.15					
Затв.		Кассім Д.О.		07.06.15					

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 56 сторінки, 13 рисунків, 2 табл., 16 джерел.

**Об'єкт дослідження** – процеси горіння в агломераційному шарі.

**Мета роботи** – дослідження процесів горіння в агломераційному шарі з метою покращення умов аглопроцесу.

**Методи досліджень** – аналіз літературних даних, в яких приведені дослідження інститутів і комбінатів, пов'язаних з даним питанням.

Досліджено вплив низької концентрації пального, наявності інертних матеріалів та оксидів заліза на склад газової фази та температурні режими в активній зоні. Проаналізовано окислювально-відновні реакції між вуглецем та оксидами заліза, а також вплив вмісту палива на ступінь відновлення та використання кисню. Експериментально визначено залежність складу газу та температури за товщиною активної зони при різних витратах вуглецю. Досліджено математичну модель, що описує зміну концентрації газових компонентів у шарі агломераційної шихти з урахуванням основних особливостей горіння.

Експериментально вивчено температуру займання, тривалість горіння та швидкість вигорання частинок палива різної крупності при різних початкових температурах середовища. Проаналізовано вплив виду палива та розміру частинок на кінетичні та температурні характеристики горіння.

Серед найважливіших результатів роботи треба відзначити наступні. Виявлено специфічні особливості горіння вуглецю в агломераційному шарі, зумовлені його розведенням інертними матеріалами та взаємодією з оксидами заліза. Встановлено залежність складу газової фази та температурного профілю в активній зоні від вмісту вуглецю та наявності оксидів заліза. Визначено температурні режими займання та кінетичні параметри горіння різних видів твердого палива. Показано, що різні види палива мають суттєві відмінності у температурі займання, тривалості та швидкості горіння, що необхідно враховувати при їх використанні в агломераційному процесі.

Встановлено вплив крупності частинок палива на характеристики горіння та температурний режим процесу.

Запропоновано рекомендації щодо вибору та підготовки заміників коксового дріб'язку для оптимізації процесу агломерації. Зокрема, при переході на високореакційні види палива може знадобитися корегування їхньої крупності та витрати на спікання для забезпечення якісного аглоспека.

Таким чином, дослідження надає важливі дані про механізм горіння твердого палива в умовах агломерації та порівняльні характеристики різних видів палива, що є основою для оптимізації технологічного процесу та розширення сировинної бази агломераційного виробництва.

АГЛОМЕРАЦІЯ, МЕХАНІЗМ ГОРІННЯ, ТВЕРДЕ ПАЛИВО, КРУПНІСТЬ, СПІКАННЯ, КОКСОВИЙ ДРІБ'ЯЗОК, АГЛОСПЕК

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Дослідження впливу деяких параметрів на повноту згоряння агломераційного палива	9
1.2. Аналіз реакційної здатності та горючості агломераційного па- лива	16
Висновки по аналітичній частині	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	25
2.1 Дослідження особливостей горіння в шарі, що агломерується	25
2.2 Особливості горіння частинок твердого агломераційного па- лива при заміні коксового дріб'язку іншими видами палива	35
Висновки по основній частині	44
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
3.1. Законодавство в області охорони праці	47
3.2. Розрахункова частина	47
Висновки по охороні праці	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
Перелік бібліографічних джерел	55

## ВСТУП

Дефіцит коксової дрібниці на аглофабриках спонукає вишукувати для спікання залізних руд нові види твердого палива, технологічні процеси одержання та сировинні джерела яких зумовлюють їхню різну хімічну активність, зокрема реакційну здатність і горючість. Використання таких видів палива супроводжується суттєвими змінами показників агломераційного процесу.

З точки зору використання енергії палива, а також зниження ступеня токсичності газів, що викидаються в атмосферу, цікавить вивчення впливу різних факторів на хімічну повноту згоряння твердого палива в умовах агломераційного процесу.

Відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газі залежить як від крупності частинок коксу, так і від гранулометричного складу матеріалу, що спікається.

Повнота згоряння палива при агломерації визначається як фізичною структурою шару (крупність частинок коксу і спікаємого матеріалу, якість огрудкування, фільтраційні характеристики шару - порозність і просвіт), так і газодинамічними умовами ведення процесу спікання.

Використання різних видів палива в якості заміників коксової дрібниці для агломерації залізних руд повинне в силу зазначених закономірностей їх горіння супроводжуватися підвищенням витрати вуглецю палива на спікання для підтримки на колишньому рівні загального приходу тепла від спалювання палива і, отже, міцніших показників аглоспеку.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Дослідження впливу деяких параметрів на повноту згоряння агломераційного палива

З точки зору використання енергії палива, а також зниження ступеня токсичності газів, що викидаються в атмосферу, цікавить вивчення впливу різних факторів на хімічну повноту згоряння твердого палива в умовах агломераційного процесу.

В даній дипломній роботі проаналізовані дослідження, котрі проводили на лабораторній агломераційній установці, що має чашу внутрішнім діам. 126 мм. Для виміру кількості повітря, що надходить у шар на чашу встановлювали надставку з кінцевою діафрагмою. Під час досліду за допомогою газовідбірної трубки, розташованої на рівні постілі, відбирали 6-12 проб агломераційного газу, що аналізували на хроматографі ХЛ-4. Спікання вели при такій витраті коксу, щоб вміст кисню у газах, що відходять, був більше 3 %. У цьому випадку відновна область у зоні горіння не утворюється [1, 2], а відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  у газах, що відходять, практично не залежить від вмісту в них вільного кисню.

Щоб виключити вплив процесів розкладання карбонатів шихти та відновлення оксидів заліза на склад газової фази, що утворюється, коксик спалювали в шарі інертного матеріалу (подрібнений шамот різної крупності). Досліджували вплив крупності частинок коксу, гранулометричного складу матеріалу, порозності шару і швидкості повітря, що просмоктується, на хімічну повноту згоряння палива, що оцінюється по відношенню  $\text{CO}:\text{CO}_2$  у відхідних газах.

Дослідження показали, що відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газі залежить як від крупності частинок коксу, так і від гранулометричного складу матеріалу, що спікається. Нижче наведені дані про зміну складу відпрацьованого газу в залежності від крупності спікаємого матеріалу при швидкості

просмоктуємого повітря  $v = 0,28$  м/с, крупності коксу 0,63-1,00 мм і середньому діаметрі  $d_m$  частинок інертного матеріалу 5,2 (число вгорі) і 2,5 мм (число внизу):

Дослід	O <sub>2</sub>	Вміст, %			
		CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO:CO <sub>2</sub>
1	4,4	2,6	14,0	–	0,186
	5,6	3,1	11,5	0,1	0,270
2	5,1	2,1	13,8		0,153
	9,3	2,1	8,0	–	0,259
3	3,9	3,0	14,8	0,1	0,202
	4,2	3,2	12,9	–	0,251

З наведених даних видно, що за інших рівних умов зі зменшенням величини  $d_m$  (діаметра частинок, еквівалентного по питомій поверхні шматків) з 5,2 до 2,5 мм відношення CO:CO<sub>2</sub> зростає з 0,18 до 0,26. Як показують результати обробки експериментальних даних різних авторів (рис. 1.1), за подальшого зменшення  $d_m$  відношення CO:CO<sub>2</sub> в газах, що відходять, безперервно підвищується, особливо різко при  $d_m < 2$  мм. Зазначене явище можна пояснити тим, що при збільшенні крупності спікаємого матеріалу посилюється турбулентність руху газового потоку, а оскільки газова фаза містить вільний кисень, то, очевидно, умови догорання CO покращуються, і його вміст у газах, що відходять, знижується.

З рис. 1.2 слідує, що вплив крупності палива (середній діаметр частинок  $d_k$ ) аналогічний впливу крупності спікаємого матеріалу. При температурах агломераційного процесу горіння вуглецю локалізується на зовнішній поверхні частинок коксу, тому зі збільшенням крупності палива товщина зони горіння зростає, і умови догорання покращуються.

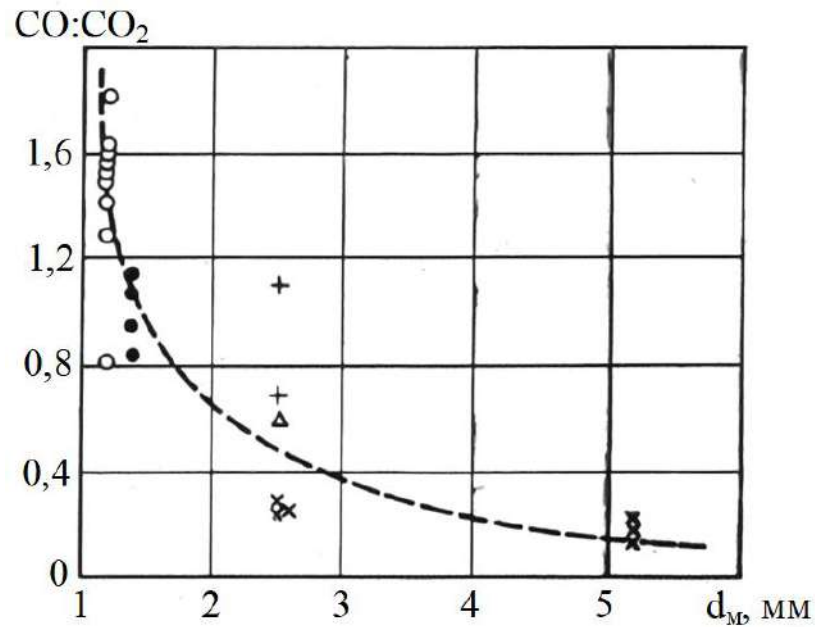


Рис. 1.1. Залежність відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  у газі, що відходить, від крупності частинок інертного матеріалу за даними різних авторів: ○, + і Δ – досліді з магнетитом [3] при значеннях  $v$ , рівних відповідно 0,33, 0,45 і 0,10 м/с; ● – досліді з кварцовим піском [4] при  $v = 0,28$  м/с; × – досліді з шамотом за даними цього дослідження при  $v = 0,28$  м/с

Таблиця 1.1

Залежність складу відпрацьованого газу від насипної маси спікаємого матеріалу при  $v = 0,28$  м/с і крупності коксу 1,0-1,5 мм

Час від початку процесу, хв:с	Вміст, %			CO:CO <sub>2</sub>	V, т/м <sup>3</sup>
	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>		
2:30 – 2:55	9,09	2,07	9,55	0,217	
2:55 – 3:10	8,64	1,78	9,98	0,179	1,15
3:10 – 3:30	8,37	2,00	9,92	0,202	
—	Середні значення				
	8,70	1,95	9,82	0,199	
6:05 – 6:30	7,56	2,63	9,81	0,268	
6:30 – 6:45	7,23	2,58	9,83	0,262	1,23
6:45 – 7:05	7,85	2,45	9,90	0,248	
7:05 – 7:25	7,25	2,41	10,21	0,236	
—	Середні значення				
	7,47	2,52	9,94	0,254	
10:10 – 10:35	7,43	3,27	10,35	0,316	
10:35 – 10:55	7,73	3,30	9,10	0,362	
10:55 – 11:10	8,12	3,17	9,73	0,326	1,38
11:10 – 11:25	8,08	3,14	8,31	0,377	
—	Середні значення				
	7,84	3,22	9,37	0,343	

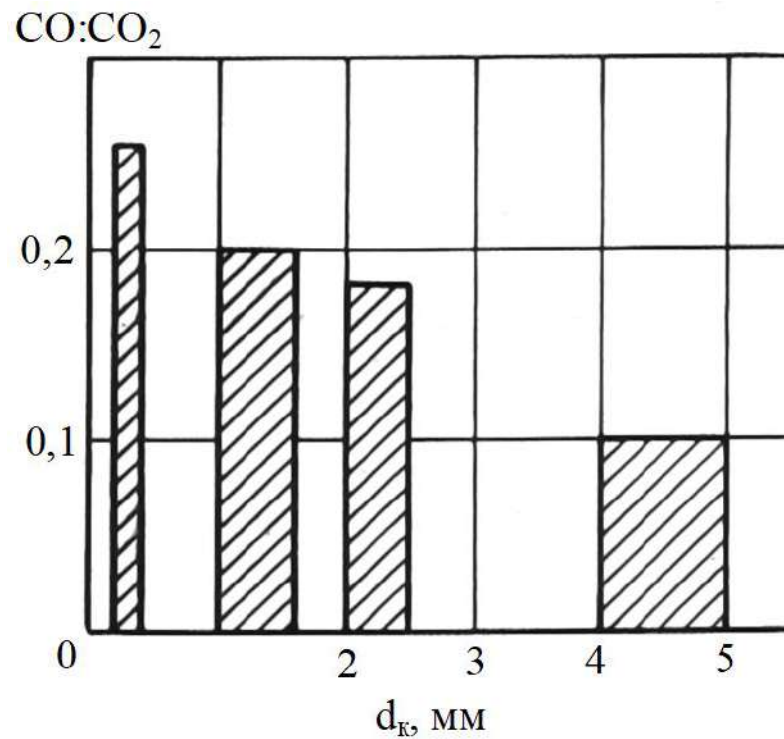


Рис. 1.2. Залежність відношення CO:CO<sub>2</sub> у газі, що відходить, від крупності частинок коксу, побудована за результатами дослідів при спалюванні коксу вузьких фракцій при  $v = 0,28$  м/с

Для виявлення впливу порозності шару на вихід окису вуглецю з газами, що відходять, провели спеціальні дослід з підпресуванням матеріалу по ходу процесу спікання. У всіх випадках із зменшенням порозності шару відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  у газах, що відходять, зростало. Так, наприклад, дані таблиці 1.1 показують, що якщо на початку дослід при насипній масі матеріалу  $\gamma = 1,15 \text{ т/м}^3$  відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газі склало 0,199, то збільшення  $\gamma$  від  $1,23 \text{ т/м}^3$ , тобто на 7,5 %, шляхом його механічного підпресування призвело до підвищення вмісту в газі до 2,52 %, а відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  до 0,254. При подальшому збільшенні насипної маси матеріалу в цьому ж досліді до  $1,38 \text{ т/м}^3$  відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  зросло до 0,343. Ефект впливу порозності шару на повноту згоряння вуглецю коксу, очевидно, пояснюється зміною об'ємної швидкості реакції взаємодії окису вуглецю з вільним киснем у зоні горіння палива. У разі зменшення порозності шару матеріалу через скорочення часу перебування газової суміші в зоні достатніх для протікання хімічних реакцій температур об'ємна швидкість горіння також знижується.

У зв'язку з тим, що повнота згоряння вуглецю палива залежить від фізичної структури шару, вплив газодинамічних умов на відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газах, що відходять, досліджувався в тому самому досліді при різній швидкості руху просмоктуваного повітря. З рис. 1.3 випливає, що в інтервалі швидкостей 0,2-0,5 м/с залежність відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  від величини  $v$  має лінійний характер. З підвищенням швидкості руху просмоктуваного повітря в 1,8 раз (з 0,28 до 0,50 м/с) відношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газі, що відходить, зросло в 1,7 рази, причому ця залежність справедлива для коксу різної крупності. З підвищенням швидкості просмоктування ступінь турбулентності газового потоку зростає, але, незважаючи на це, через скорочення часу перебування газу в зоні горіння і зниження з цієї причини об'ємної швидкості горіння  $\text{CO}$  співвідношення  $\text{CO}:\text{CO}_2$  в газі збільшується.

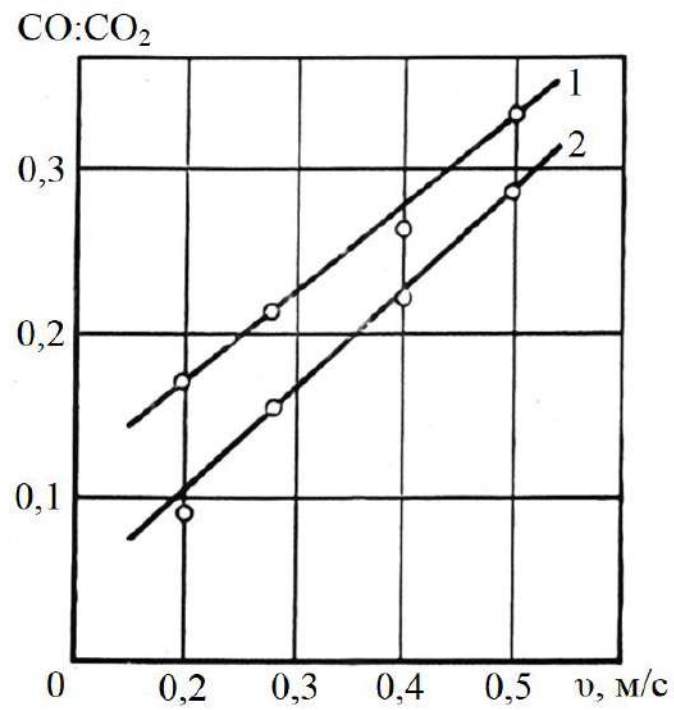


Рис. 1.3. Вплив швидкості просмоктуемого повітря на відношення CO:CO<sub>2</sub> в газі, що відходить, при крупності коксу: 1 – 1,00-1,63 мм; 2 – 2,0-2,5 мм

Проаналізоване дослідження показує, що повнота згоряння палива при агломерації визначається як фізичною структурою шару (крупність частинок коксу і спікаємого матеріалу, якість огрудкування, фільтраційні характеристики шару - поразність і просвіт), так і газодинамічними умовами ведення процесу спікання.

## 1.2. Аналіз реакційної здатності та горючості агломераційного палива

Дефіцит коксової дрібниці на аглофабриках спонукає вишукувати для спікання залізних руд нові види твердого палива, технологічні процеси одержання та сировинні джерела яких зумовлюють їхню різну хімічну активність, зокрема реакційну здатність і горючість [5]. Використання таких видів палива супроводжується суттєвими змінами показників агломераційного процесу [6, 7].

В цій частині дипломної роботи проаналізовані дослідження, в яких вивчали горючість та реакційну здатність на зразках палива крупністю 1-2 мм з наступними показниками, %:

Вид палива	W <sup>p</sup>	A <sup>c</sup>	V <sup>r</sup>	S <sup>c</sup>
Коксова дрібниця	1,92	12,76	3,27	1,59
Дрібнозернистий кокс з:				
слабоспінного вугілля	1,43	5,99	6,35	0,22
газового вугілля	2,80	18,4	1,88	1,30
суміші (1:1) газового та спічного вугілля	2,80	16,8	2,60	0,99
Буровугільний напівкокс	8,24	14,54	28,77	0,25

Досліди проводили у вертикальній трубчастій печі, в яку при 750 °С поміщали кварцовий реактор діаметром 30 мм з шаром палива високою 10-14 мм (навіску палива брали рівною 5 г). Витрату повітря на спалювання

підтримували постійною у ході досліду і рівною 3 л/хв (по кисню  $3 \cdot 0,2 = 0,6$  л/хв); дослід вели до повного вигорання навіски палива. Про хід процесу судили з аналізу газів, що відходять, на вміст CO і CO<sub>2</sub> за допомогою оптико-акустичних газоаналізаторів. При визначенні реакційної здатності через шар палива при 1100 °C продували CO<sub>2</sub> зі швидкістю 0,6 л/хв.

Отримані закономірності газоутворення при спалюванні шару палива (рис. 1.4) характеризуються наступними стадіями процесу, що послідовно протікають.

Займання палива, що супроводжується інтенсивним утворенням окису і двоокису вуглецю, у всіх випадках досить швидко через 50-60 с ( $\tau_1$ ) переходить в період стабілізованого горіння ( $\tau_2$ ), під час якого відбуваються пошарове вигорання палива в струмі кисню повітря, а також газифікація вуглецю двоокисом вуглецю, що утворюється.

У міру вигорання навіски палива зменшується можливість останньої реакції, що обумовлює зростання концентрації CO<sub>2</sub> у газах, що відходять ( $\tau_3$ ). Зазначений підйом кривих вмісту CO<sub>2</sub> збігається з початком зниження концентрації окису вуглецю в газах, що відходять,. Можна припускати, що зникнення CO у продуктах згорання, що відходять, збігається з таким періодом процесу, коли залишається незгорілим лише нижній елементарний шар палива, висота якого мала і не забезпечує умов для протікання реакції  $C + CO_2$ . Процес спалювання шару палива в цьому випадку знаходиться на завершальному етапі ( $\tau_4$ ), що супроводжується появою спадаючої гілки на кривих вмісту двоокису вуглецю в продуктах згорання.

Вважаючи тривалість горіння навіски палива у вигляді суми

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4,$$

можна зіставити горючість різних видів твердого палива шляхом порівняння отриманих значень  $\tau$  або за відповідними значеннями швидкостей горіння вуглецю палива  $V_r$ :

Вид палива	$\tau$ , с	$V_r \cdot 10^4$ , г/с	$K \cdot 10^4$ , с <sup>-1</sup>
Коксова дрібниця	1980	25,2	2,67
Дрібнозернистий кокс з:			
слабоспінного вугілля	1800	27,8	–
газового вугілля	1680	29,7	6,15
суміші (1:1) газового та спінного вугілля	1920	26,0	4,43
Буровугільний напівкокс	1260	39,7	14,22

Підраховані для умов дослідів швидкості горіння вуглецю палива  $V_r$  можуть бути мірою хімічної активності вуглецевої речовини палива по відношенню до газу-окисника; зміна даного показника призводить до помітної кількісної зміни показників процесу газоутворення при спалюванні різних видів палива та відповідних коливань температурно-теплового режиму реакції.

Зростання показника  $V_r$  в розглянутому інтервалі його значень призводить практично до безперервного зниження окисного потенціалу продуктів згоряння, про що свідчать як зміна вмісту CO і CO<sub>2</sub> в період стабілізованого режиму горіння (рис. 1.5, а), так і зростання відношень максимальних значень концентрацій CO і CO<sub>2</sub> в продуктах згоряння (рис. 1.5, б).

В умовах проведених дослідів у міру підвищення горючості палива  $V_r$  кількість двоокису вуглецю, що вступає в ендотермічну реакцію газифікації вуглецю палива, зростала в період стабілізованого горіння від 20 до 70 % від максимально можливої кількості CO<sub>2</sub> в продуктах згоряння (рис. 1.5, в). Отже, розвиток реакції взаємодії CO<sub>2</sub> з вуглицем палива, що знижує прихід тепла від горіння палива, також залежить від хімічної активності використовуваного палива.

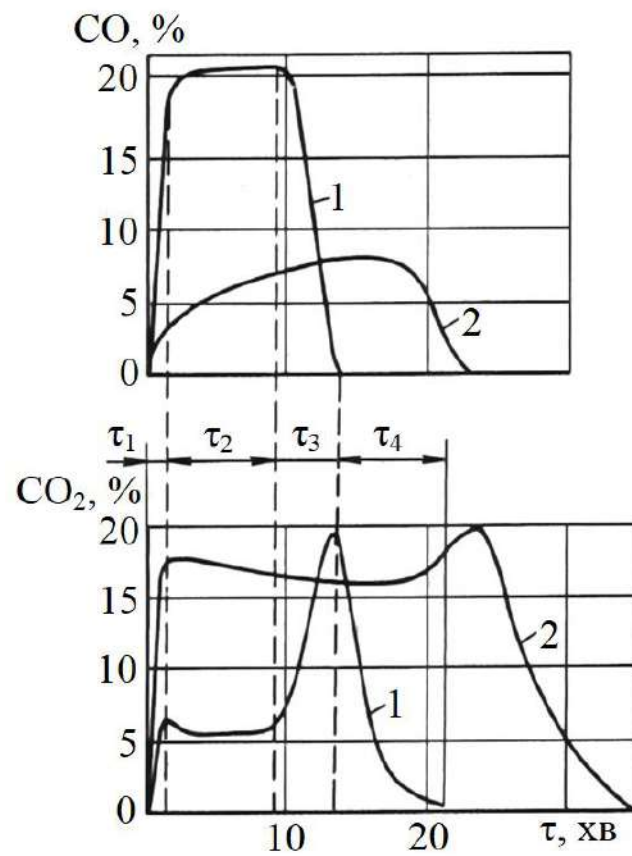


Рис. 1.4. Зміна складу продуктів згоряння шару палива під час дослід: 1 – буровугільний напівкокс; 2 – коксова дрібниця

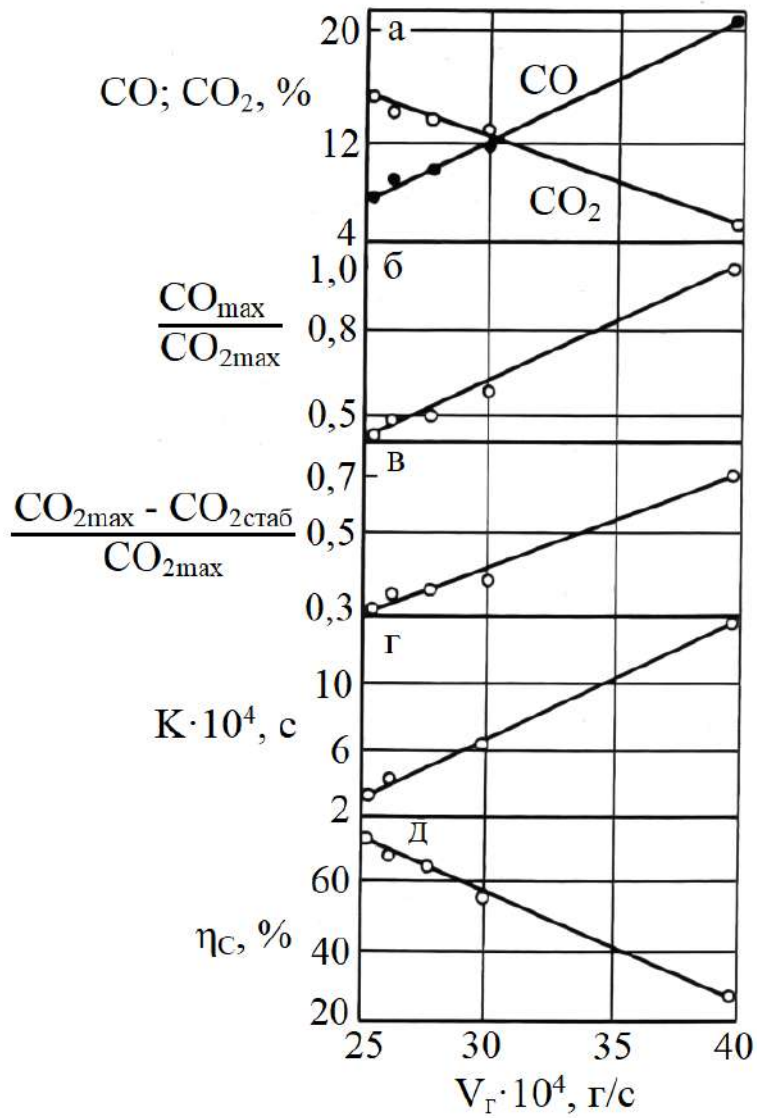


Рис. 1.5. Зміна показників горіння палива в залежності від його хімічної активності

Окреме вивчення цієї реакції за описаною методикою дозволило визначити реакційну здатність використаних у роботі палив за величиною константи швидкості реакції, при цьому виходили з положення про те, що дана реакція є реакцією першого порядку [8-10]:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_H}{C_H - C_T} \text{ c}^{-1},$$

де  $\tau$  – тривалість дослід, с;

$C_H, C_T$  – кількість вуглецю, відповідно, у навісці та газифікованого за час дослід, г.

Експериментальні дані свідчать про те, що всі використані види палива мають більшу, ніж у коксової дрібниці, реакційну здатність; між горючістю палива та його реакційною здатністю спостерігається пряма залежність (рис. 1.5, г).

Таким чином, застосування для шарового процесу різних видів палива, що мають підвищені швидкості горіння, супроводжується зниженням ступеня використання вуглецю, оскільки значна частина його згоряє тільки до CO, скорочуючи тим самим можливий прихід тепла.

Значення ступеня використання вуглецю палива

$$\eta_C = \frac{CO_2}{CO+CO_2} 100,$$

підраховані за середніми величинами вмісту зазначених компонентів у продуктах згорання за час повного спалювання навіски палива, для використаних палив різко знижуються від 75 % для коксової дрібниці до 28 % для буровугільного напівкоксу (рис. 1.5, д).

Використання досліджених видів палива в якості заміників коксової дрібниці для агломерації залізних руд повинне в силу зазначених закономірностей їх горіння супроводжуватися підвищенням витрати вуглецю палива на спікання для підтримки на колишньому рівні загального приходу тепла від спалювання палива і, отже, міцнісних показників аглоспеку. Відновлювальний характер продуктів згоряння високореакційного палива типу буровугільного півкоксу може бути підставою для використання його при виробництві металізованих залізорудних матеріалів.

## Висновки по аналітичній частині

1. Дефіцит коксової дрібниці на аглофабриках спонукає вишукувати для спікання залізних руд нові види твердого палива, технологічні процеси одержання та сировинні джерела яких зумовлюють їхню різну хімічну активність, зокрема реакційну здатність і горючість. Використання таких видів палива супроводжується суттєвими змінами показників агломераційного процесу.

2. В даній дипломній роботі проаналізовані дослідження, котрі проводили на лабораторній агломераційній установці, що має чашу внутрішнім діам. 126 мм. Для виміру кількості повітря, що надходить у шар на чашу встановлювали надставку з кінцевою діафрагмою. Під час досліду за допомогою газовідбірної трубки, розташованої на рівні постілі, відбирали 6-12 проб агломераційного газу, що аналізували на хроматографі ХЛ-4. Спікання вели при такій витраті коксу, щоб вміст кисню у газах, що відходять, був більше 3 %. У цьому випадку відновна область у зоні горіння не утворюється, а відношення  $CO:CO_2$  у газах, що відходять, практично не залежить від вмісту в них вільного кисню.

3. Дослідження показали, що відношення  $CO:CO_2$  в газі залежить як від крупності частинок коксу, так і від гранулометричного складу матеріалу, що спікається.

4. Вплив крупності палива (середній діаметр частинок  $d_k$ ) аналогічний впливу крупності спікаємого матеріалу. При температурах агломераційного процесу горіння вуглецю локалізується на зовнішній поверхні частинок коксу, тому зі збільшенням крупності палива товщина зони горіння зростає, і умови догоряння покращуються.

5. Повнота згоряння палива при агломерації визначається як фізичною структурою шару (крупність частинок коксу і спікаємого матеріалу, якість огрудкування, фільтраційні характеристики шару - поразність і просвіт), так і газодинамічними умовами ведення процесу спікання.

6. Застосування для шарового процесу різних видів палива, що мають підвищені швидкості горіння, супроводжується зниженням ступеня використання вуглецю, оскільки значна частина його згоряє тільки до CO, скорочуючи тим самим можливий прихід тепла.

7. Використання різних видів палива в якості замінників коксової дрібниці для агломерації залізних руд повинне в силу зазначених закономірностей їх горіння супроводжуватися підвищенням витрати вуглецю палива на спікання для підтримки на колишньому рівні загального приходу тепла від спалювання палива і, отже, міцнісних показників аглоспеку. Відновлювальний характер продуктів згоряння високореакційного палива типу буровугільного півкоксу може бути підставою для використання його при виробництві металізованих залізорудних матеріалів.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Дослідження особливостей горіння в шарі, що агломерується

Серед складного комплексу гетерогенних процесів, що протікають під час агломерації залізорудної шихти, істотними є горіння вуглецю та відновлення оксидів заліза. Обидва процеси впливають на склад газової фази. Поряд із наявністю рис, властивих процесу горіння в паливному шарі, горіння твердого палива при агломерації має свої особливості. До них належать: низька концентрація пального в шарі та велика протяжність кисневої зони; відсутність зони відновлення  $\text{CO}_2$ ; присутність оксидів заліза, що вступають в окислювально-відновні реакції; наявність залишкового кисню в газах, які залишають шар.

Розгляд графіків, що характеризують зміну складу газу за товщиною активної зони, дає змогу судити про особливості горіння коксового дріб'язку в агломерованій шихті. Спочатку розглянемо горіння палива в шарі, розведеному інертним матеріалом. Відомо [11, 12], що на виході із зони горіння твердого палива в інертному матеріалі склад газу відрізняється від складу, що відповідає умовам реальної агломерації. Зміна вмісту газових компонентів у кисневій зоні (рис. 2.1) аналогічна зміні складу газу під час горіння палива в щільному шарі без інертних матеріалів. Взаємодія вуглецю з газом припиняється раніше, ніж розвивається реакція відновлення вуглекислого газу, оскільки за кисневою зоною різко знижується температура газу за рахунок інтенсивного теплообміну з шихтою. Для того щоб ступінь завершеності відновлення  $\text{CO}_2$  була такою ж, як під час горіння чистого палива, необхідно збільшити протяжність зони відновлення пропорційно зменшенню об'ємної концентрації вуглецю в агломерованому шарі порівняно з паливним. Насправді під час агломерації протяжність зони відновлення виявляється навіть меншою внаслідок витрат тепла на нагрівання негорючих матеріалів і випаровування вологи.

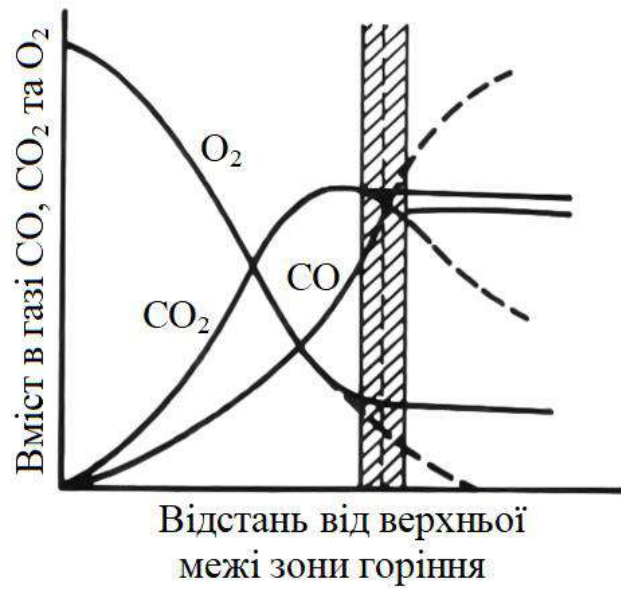
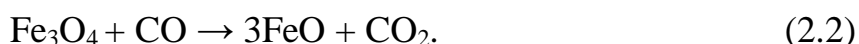


Рис. 2.1. Зміна складу газу за товщиною активної зони в шарі інертного матеріалу (пунктиром показано продовження кривих, які відповідають вмісту в газі  $CO$ ,  $CO_2$  і  $O_2$  в паливному шарі)

Залежно від співвідношення швидкості горіння вуглецю та об'ємної теплоємності інертного матеріалу межа, за межами якої взаємодія припиняється, може зміщуватися в певних межах (на рис. 2.1 область зсуву заштрихована), унаслідок чого відношення  $\text{CO}/\text{CO}_2$  у газі, що відходить, коливається від 1,0 до 1,3. Про це свідчать дані про склад газу, що утворюється під час горіння коксового дріб'язку в шарі кварцового піску [11] і магнезитової крихти [12].

Горіння вуглецю в шарі шихти, що містить оксиди заліза, здійснюється окислювально-відновними реакціями, вплив яких на склад газу при різних витратах вуглецю схематично показано на рис. 2.2. Стрілками позначені напрямки можливих змін вмісту  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$  в агломераційному газі порівняно з газом, що утворюється під час горіння палива в інертному матеріалі. У варіантах а і б різниця ординат точок, що лежать на кривих 1 і 1', відповідає приросту вмісту  $\text{CO}_2$  за реакціями



Відповідно відбувається і убуток окису вуглецю, оскільки частина його витрачається на реакції відновлення окислів заліза. У міру збільшення об'ємної концентрації палива в шихті зростають ступінь відновлення і ступінь використання кисню повітря, що просмоктується.

Отримано таку залежність ступеня окиснення спека і вмісту  $\text{O}_2$  у газі, що відходить, під час агломерації магнетитового концентрату крупністю 1,68-0,84 мм:

Вміст С у шихті, %	Вміст FeO у спеку, %	Вміст $\text{O}_2$ у відхідному газі, % (об'ємн.)
2,0	17,7	5,5
3,0	18,2	3,4

3,3	20,4	2,8
4,0	25,7	1,6
5,0	29,8	0,7

За низької витрати вуглецю створюються сприятливі умови для окислення нижчих оксидів заліза шихти, внаслідок чого може відбутися спад  $\text{CO}_2$ . Якщо в шихті відсутній закис заліза, то склад газу стабілізується.

Зменшення вмісту палива в шихті призводить до зниження сумарної поверхні взаємодії вуглецю з киснем повітря, що просочується, в одиниці об'єму шихти. Оскільки товщина зони горіння при цьому не змінюється (витрата повітря постійна), то в газі, що виходить, вміст  $\text{O}_2$  має зрости. Це підтверджується результатами дослідів (рис. 2.3), виконаних на експериментальній установці (рис. 2.4) при безперервному відсмоктуванні газу з шару протягом певного відрізка часу, в межах якого горизонт відбирання проб газу перебував у зоні горіння, що рухається, і за її межами.

Крива  $t_1$  відповідає показанням термомпари, встановленої в 25 мм над горизонтом відбору проб газу, крива  $t_2$  відповідає показанням термомпари, встановленої на горизонті відбору проб газу.

Для відбору проб газу в систему скляних бюреток (як і в роботі [13]) використовували газовідбірний пристрій у вигляді тонкостінної мідної трубки діаметром 3 мм, забезпеченої водоохолоджувальною сорочкою. Під час дослідів трубка, поверхню якої покривали теплоізоляційною обмазкою завтовшки 1 мм, перебувала в такому положенні, що її газовідбірна щілина була звернена догори і відстояла від водоохолоджуваної сорочки на відстані 5 мм. Кожна проба газу була усередненою по ширині горизонтальної площини відбору.

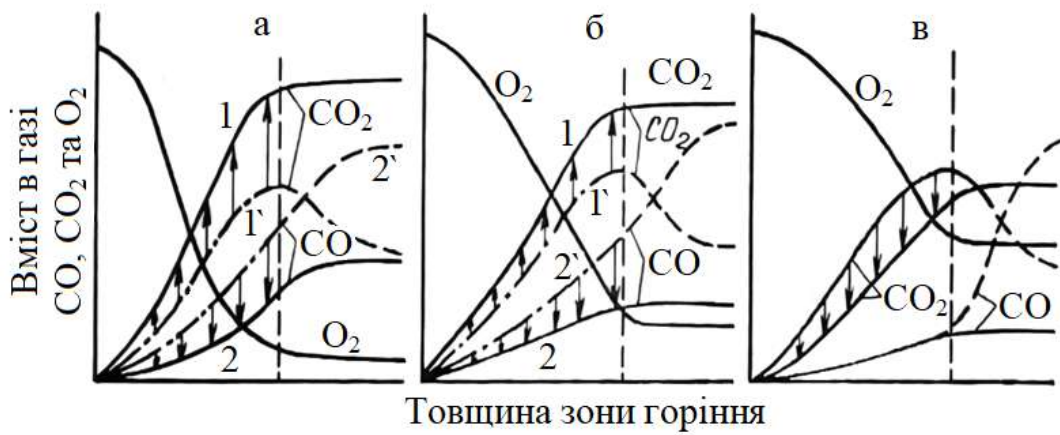


Рис. 2.2. Зміна складу газу по товщині активної зони залежно від вмісту вуглецю в рудній шихті. Тонкими лініями вказано зміну вмісту CO і CO<sub>2</sub> в шарі, що складається з суміші твердого палива та інертного матеріалу. Витрата вуглецю від а до в знижується.

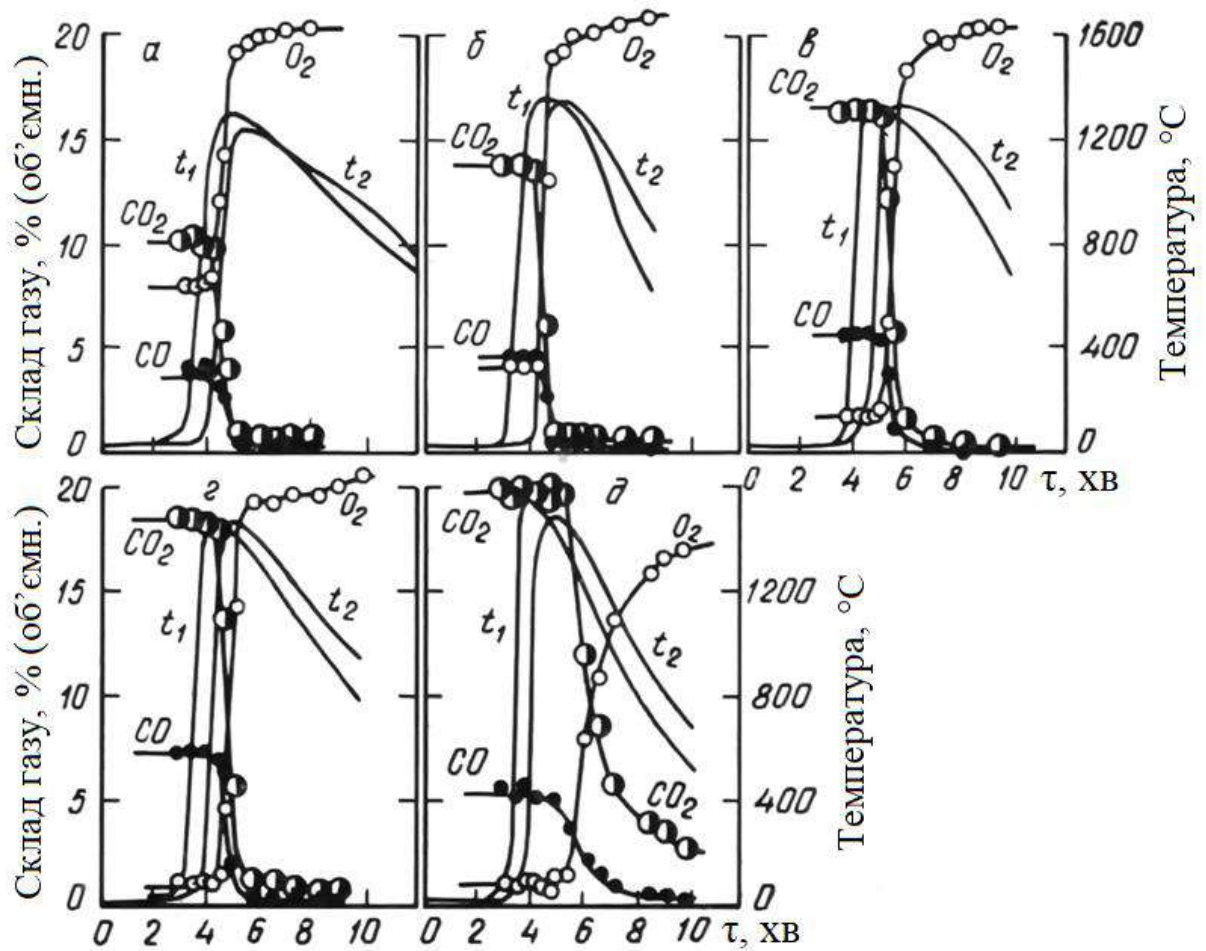


Рис. 2.3. Залежність складу газу і температури від часу в активній зоні під час агломерації магнетитового концентрату (1-3 мм) з твердим паливом (0,56-1,0 мм) за витрати повітря  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$ . Вміст вуглецю в шихті, %:

а – 2,0; б – 3,0; в – 3,3; г – 4,0; д – 5,0.

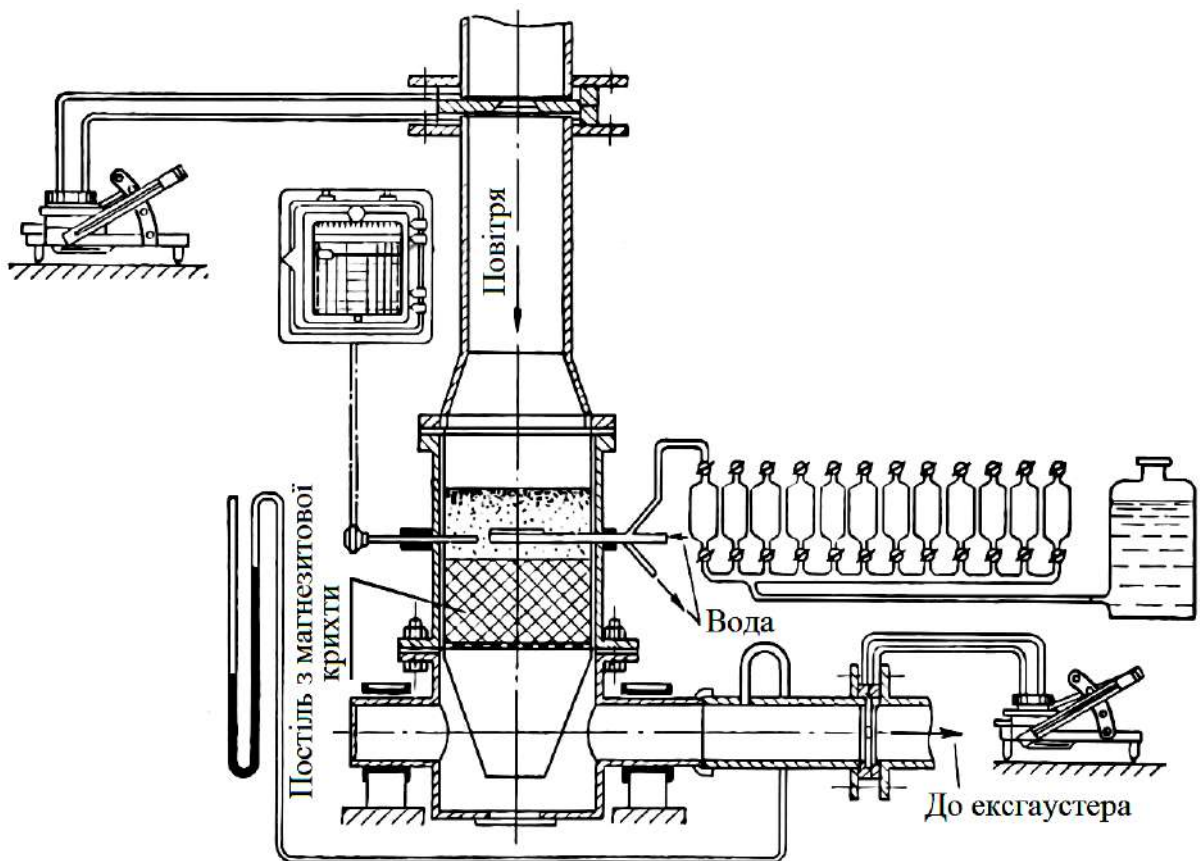


Рис. 2.4. Схема експериментальної установки для вивчення процесу горіння коксового дріб'язку в умовах агломерації

Залежність концентрації кисню в газі, що відходить,  $O_2$  від початкової його концентрації  $O_2$  і характеристик шару, що складається з суміші палива і шихтових матеріалів, задовільно описується виразом, що є результатом розв'язання диференціального рівняння [14]:

$$\frac{d(O_2')}{dz} = -f(\alpha_1 + \alpha_2)O_2' - \varepsilon(1-f)O_2', \quad (2.3)$$

де  $z$  – координата;

$\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти, що характеризують швидкості утворення  $CO$  і  $CO_2$  з вуглецю і кисню на поверхні шматочків палива;

$\varepsilon$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість окислення магнетиту до окису заліза.

Як видно з рис. 2.3, початок горіння не завжди збігається з моментом досягнення температури, що відповідає точці займання твердого палива. Збіг спостерігається лише за низького вмісту вуглецю в шихті (до 3,0-3,3 %). За більш високого вмісту вуглецю (4,0-5,0 %) горіння починається пізніше. Низькому вмісту вуглецю відповідає більш високий вміст залишкового кисню в газі. У цих умовах горіння палива починається за нижчих температур. Фронти теплопередачі й займання збігаються. У міру зниження кількості вільного кисню в газовій фазі, зумовленого підвищенням вмісту вуглецю, синхронність руху фронтів втрачається, шар шихти прогрівається до більш високих температур, перш ніж запалюється вуглець. Особливо різко це явище виражене за високої витрати вуглецю і тривалого запалювання твердого палива продуктами горіння, що містять мало надлишкового кисню. Така картина може спостерігатися під час роботи агломашин з подовженими горнами, в яких спалюється рідке або газоподібне паливо з низьким коефіцієнтом витрати повітря.

Урахування основних особливостей горіння твердого палива під час агломерації в розрахунковій схемі дає змогу одержати задовільні результати розрахунку вмісту й інших компонентів газу. Розв'язання системи диференціальних рівнянь, що відображають зміну концентрації  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  залежно від координати та інших параметрів шару, дає можливість визначити склад газу не тільки на виході з активної зони, а й на будь-якому горизонті.

Якщо, крім реакцій (2.1) і (2.2), врахувати реакцію взаємодії вуглецю з вуглекислим газом



то можна записати [14]

$$\frac{d(CO_2)}{dz} = f(\alpha_2 O_2' - \chi CO_2) + (\vartheta_1 + \vartheta_2) CO(1-f); \quad (2.5)$$

$$\frac{d(CO)}{dz} = f(\alpha_1 O_2' + 2\chi CO_2) - (\vartheta_1 + \vartheta_2) CO(1-f). \quad (2.6)$$

Розв'язання рівнянь (2.5) і (2.6) виконано числовим методом спільно з (2.3) за граничних умов і за  $\varepsilon = 0$ :

$$\left. \begin{aligned} O_2'(0) = O_2, \quad CO_2(0) = 0, \quad CO(0) = 0; \\ O_2' + CO_2 + 0,605CO = O_2 + \Phi(\vartheta_1 + \vartheta_2). \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Для розрахунку складу газу були використані значення коефіцієнтів реакційного газообміну  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  [15] і  $\chi$ ,  $\vartheta_1$ ,  $\vartheta_2$  [16]. Результати обчислень зіставлено з експериментальними даними в таблиці 2.1, з якої видно, що за  $z > 5$  мм розрахункові дані задовільно узгоджуються з експериментальними.

Таблиця 2.1

Порівняння результатів розрахунку  $O_2$ ,  $CO_2$ , і  $CO$  [% (об'ємн.)] з експериментальними даними для умов агломерації магнетитової руди 1-3 мм за витрати повітря  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$ . Крупність коксового дріб'язку 0,56-0,1 мм

Вміст С в шихті	z, мм	$O_2$		$CO$		$CO_2$	
		розрахункове	дослідне	розрахункове	дослідне	розрахункове	дослідне
2	5	20,49	19,10	0,14	0,60	0,31	1,80
	10	17,58	17,00	1,12	0,85	2,30	3,10
	15	13,48	13,10	3,04	2,00	5,48	5,40
	20	8,20	8,80	4,41	4,20	8,23	8,80
	25	5,61	6,00	5,55	5,30	10,25	9,10
	30	4,86	5,20	6,03	5,65	11,77	12,50
5	5	20,55	19,50	0,16	0,40	0,35	1,60
	10	17,38	17,55	0,62	0,70	2,80	2,60
	15	12,47	14,00	2,40	2,41	5,17	5,79
	20	6,35	7,30	5,42	5,65	11,28	12,10
	25	3,30	2,19	7,62	7,40	15,70	17,00
	30	1,38	0,95	8,55	9,05	17,80	18,90

Сильні відхилення дослідних кількостей CO і CO<sub>2</sub> від розрахункових мають місце за  $z = 5$  мм, тобто в самій верхній частині зони горіння, де істотний вплив справляє присутність розплаву, який огортає шматочки догораючого твердого палива, вносить помітне викривлення величини його відносної поверхні  $f$ , що врахувати в розрахунку поки що не представляється можливим.

Загалом дані таблиці підтверджують правильність запропонованої схеми взаємодії між газом і шихтовими матеріалами в умовах агломерації.

## 2.2 Особливості горіння частинок твердого агломераційного палива при заміні коксового дріб'язку іншими видами палива

Дефіцит коксового дріб'язку для агломерації залізних руд, що має місце на металургійних підприємствах країни, зумовлює необхідність залучення до виробництва його заміників, серед яких на сьогоднішній день практично використовується тільки антрацитовий штиб. За певних умов повноцінними заміниками коксику можуть бути також штучні види палива з вугілля, що не спікається.

Використання нових видів палива вносить зміни в агломераційний процес і насамперед у розвиток окисно-відновних реакцій, тому цікаво вивчити особливості горіння частинок різних видів палива в порівнянних умовах.

У цій частині дипломної роботи розглянуто результати дослідів зі спалювання частинок чотирьох сортів палива, технологічний аналіз якого наступний:

Вид палива	Технічний аналіз, %			
	W <sup>p</sup>	A <sup>c</sup>	V <sup>r</sup>	S <sup>c</sup>
Буровугільний напівкокс	8,24	14,54	28,77	0,25
Кокс зі слабоспінлого вугілля	1,43	5,99	6,35	0,22
Коксовий дріб'язок	1,92	12,76	1,88	1,59

Антрацит	2,50	17,83	3,57	2,24
----------	------	-------	------	------

На установці безперервно реєстрували зміну температури і ваги частинки палива; про тривалість процесу горіння судили за періодом зниження ваги частинки в ході дослідів.

Займання частинок буровугільного напівкоксу відбувається за найнижчих температур серед вивчених видів палива, для частинок буровугільного напівкоксу крупністю 1-2 мм температура займання становить ~400-450 °С. У міру переходу від буровугільного напівкоксу до коксу з вугілля зі слабо-спікаючогося вугілля, коксового дріб'язку й антрациту температура займання частинок аналогічної крупності підвищується відповідно до 560, 670 і 700 °С. Незалежно від виду палива вплив крупності частинок на температуру займання їх є ідентичним: зі збільшенням розміру частинок до 3-5 мм вона підвищується на 10-30 град.

Вплив виду палива в даному випадку проявляється через величину підготовчого періоду – часу від моменту поміщення частинки в реакційну зону до початку реагування. Частинки буровугільного напівкоксу і коксу з вугілля, що слабо спікається, спалахують практично відразу після введення їх у піч, що підтверджує їхню високу активність. Для частинок антрациту крупністю 1-2, 2-3 і 3-5 мм тривалість підготовчого періоду становила відповідно 32; 34 і 36 с проти 25; 15 і 10 с для коксового дріб'язку. Висока щільність частинок антрациту і мала поверхня реагування знижують вплив крупності частинок на величину, яку ми розглядаємо, яка, безумовно, буде змінюватися більшою мірою за значних коливань крупності антрациту, ніж це було в наших дослідів. Характерно, що відносна величина підготовчого періоду в частках від тривалості повного спалювання частинки практично постійна при зміні початкової температури середовища в діапазоні 700-1000 °С і зростає в міру зниження крупності палива.

У загальному вигляді тривалість горіння частинки палива в атмосфері повітря описується рівнянням

$$\tau = Ad_0^B,$$

де  $d_0$  – середній діаметр частинки палива в початковий момент, мм;

$A, B$  – коефіцієнти, що залежать від використовуваного виду палива;

$$A = a + b \cdot \exp \left[ -c \left( \frac{T-700}{100} \right)^n \right];$$

$T$  – початкова температура середовища, °С.

Абсолютні значення емпіричних коефіцієнтів  $a, b, c, n, B$  мають такі значення:

Вид палива	$a$	$b$	$c$	$n$	$B$
Буровугільний напівкокс	18	9,5	0,726	1,47	1,29
Кокс зі слабоспінлого вугілля	26	10,4	0,190	2,66	1,24
Коксовий дріб'язок	38	12,4	1,407	2,80	1,19
Антрацит	44	29,3	2,255	3,00	1,18

Використання емпіричних коефіцієнтів дало змогу порівняти тривалість горіння частинок коксового дріб'язку та його замінників: на рис. 2.5 нанесені розрахункові криві та вказані експериментальні точки, відхилення між якими не перевищують 10 %. Вплив реакційної здатності палива на тривалість горіння одиничних частинок його практично рівною мірою проявляється за будь-якої дослідженої крупності палива.

Збільшення крупності частинок досліджуваних видів палива (рис. 2.6) сприяє розвитку дифузійного режиму горіння і тим самим призводить до зниження впливу температури на ступінь вигорання частинки під час експерименту. У міру вигорання частинки палива характер процесу також видозмінюється, переходячи приблизно з  $(0,75-0,80)\tau_{згор}$  від перехідного до дифузійного. Зміна виду палива впливає на ступінь розвитку реакції окиснення

вуглецю, при цьому протягом досліду зберігається приблизно однаковий для всіх видів палива характер кривої швидкості горіння (рис. 2.7, а).

Найбільші швидкості горіння спостерігали за використання буровугільного напівкоксу, причому подрібнення частинок до 1-2 мм (рис. 2.8, а) знижує вплив реакційної здатності палива на швидкість процесу. Зростання крупності частинок до 2-3 і 3-5 мм (рис. 2.8, б і в) супроводжується різким підвищенням швидкості горіння високоактивного буровугільного напівкоксу та незначним прискоренням процесу при роботі на інших видах палива: мінімальний приріст швидкості горіння вуглецю спостерігали в антрациті, малу активність якого широко описано в літературі.

Термограми, зняті під час експерименту таким чином, що палаюча частинка містилася на спаянних термопарі, можуть бути поділені на три характерні типи: великі частинки буровугільного напівкоксу і коксу зі слабоспікового вугілля мають чітко виражений максимум із подальшим періодом ізотермічного горіння (рис. 2.7, б, крива I) при зниженні крупності частинок цих видів палива до 1-2 мм зберігається максимум на термограмі, але зникає ділянка ізотермічного горіння (рис. 2.7, б, крива II); частинки низькореакційних сортів палива типу коксової дрібноти та антрациту мають термограми з розмитим максимумом, який переходить при роботі з класами 2-3 і 3-5 мм у відносно тривалий період ізотермічного горіння (рис. 2.7, б, крива III).

Найвищий температурний рівень, досягнутий під час використання палива різних видів, здебільшого відповідає зафіксованим максимальним значенням швидкостей горіння вуглецю; коксова дрібниця й антрацит мають приблизно однаковий температурний рівень процесу.

Стосовно умов агломерації важливим показником горіння палива є тривалість перебування шихтових матеріалів у зоні високих температур, що зумовлює розвиток теплообміну і плавлення в шарі, що спікається.

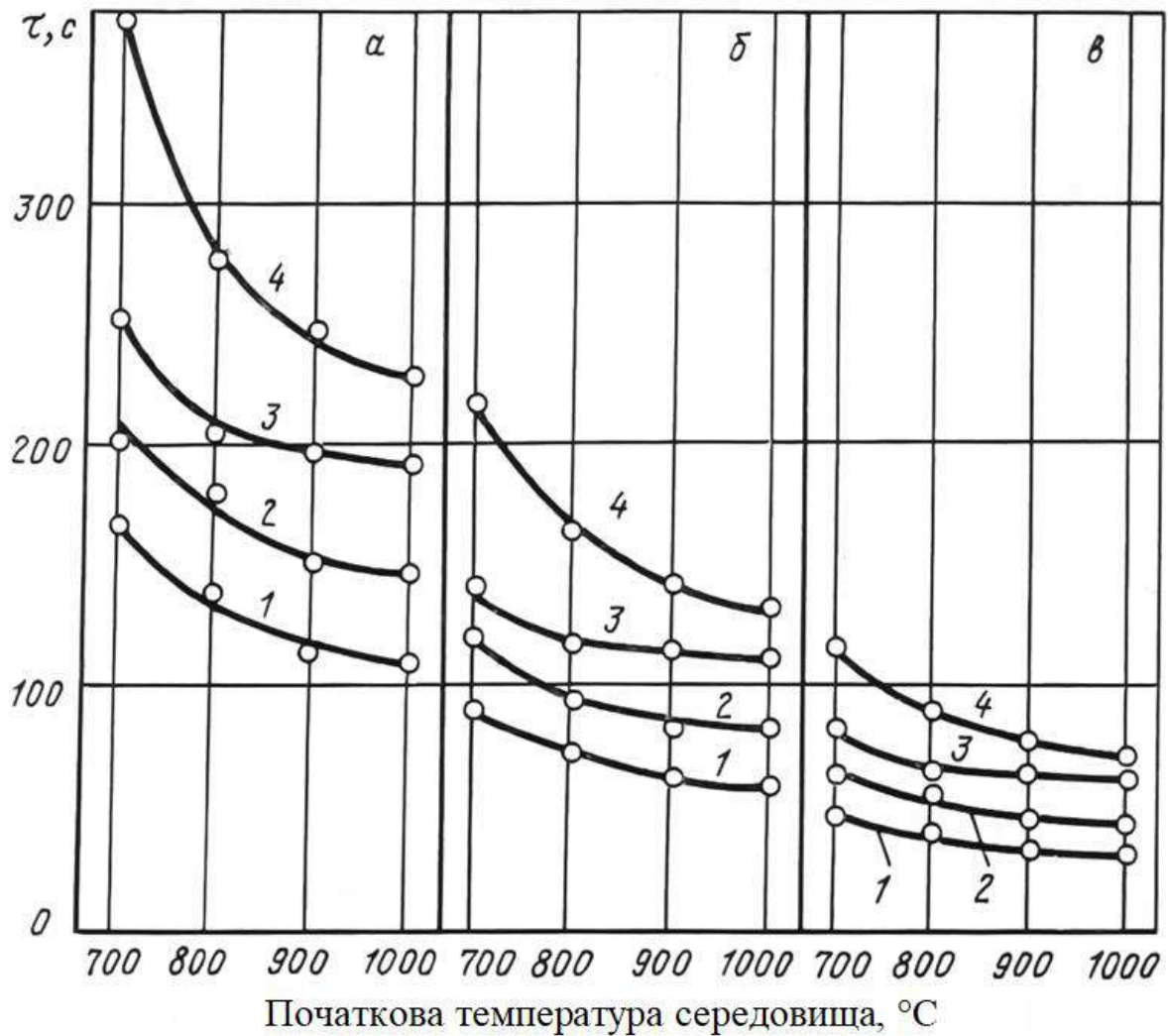


Рис. 2.5. Залежність тривалості горіння  $\tau$  паливних частинок крупністю 3-5 (а), 2-3 (б) і 1-2 мм (в) від початкової температури середовища: 1 – буровугільний напівкок; 2 – кокс із вугілля, що слабо спікається; 3 – коксовий дріб'язок; 4 – антрацит



Рис. 2.6. Вплив виду палива і початкової температури середовища на ступінь вигорання паливних частинок крупністю 1-2 (а), 2-3 (б) і 35 мм (в); ● –  $\tau = 0,5\tau_{згор}$ ; ○ –  $\tau = 0,75\tau_{згор}$ ; цифри у кривих 1-4 – те саме, що й на рис. 2.5

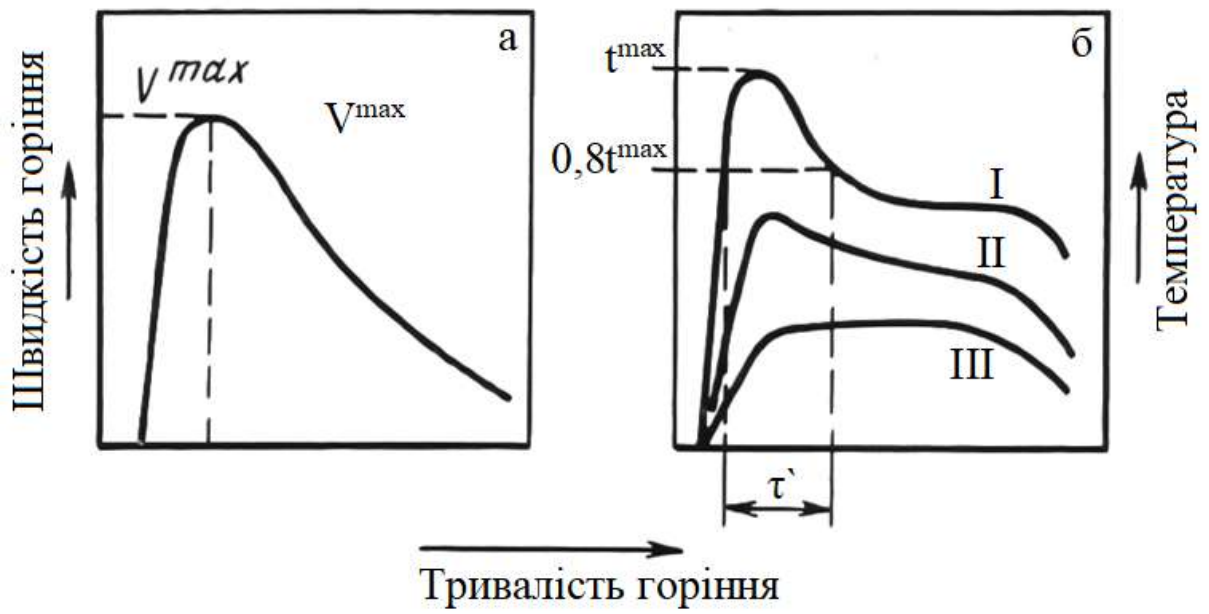


Рис. 2.7. Залежність швидкості горіння частинок (а) і їхньої температури (б) від часу (схема)

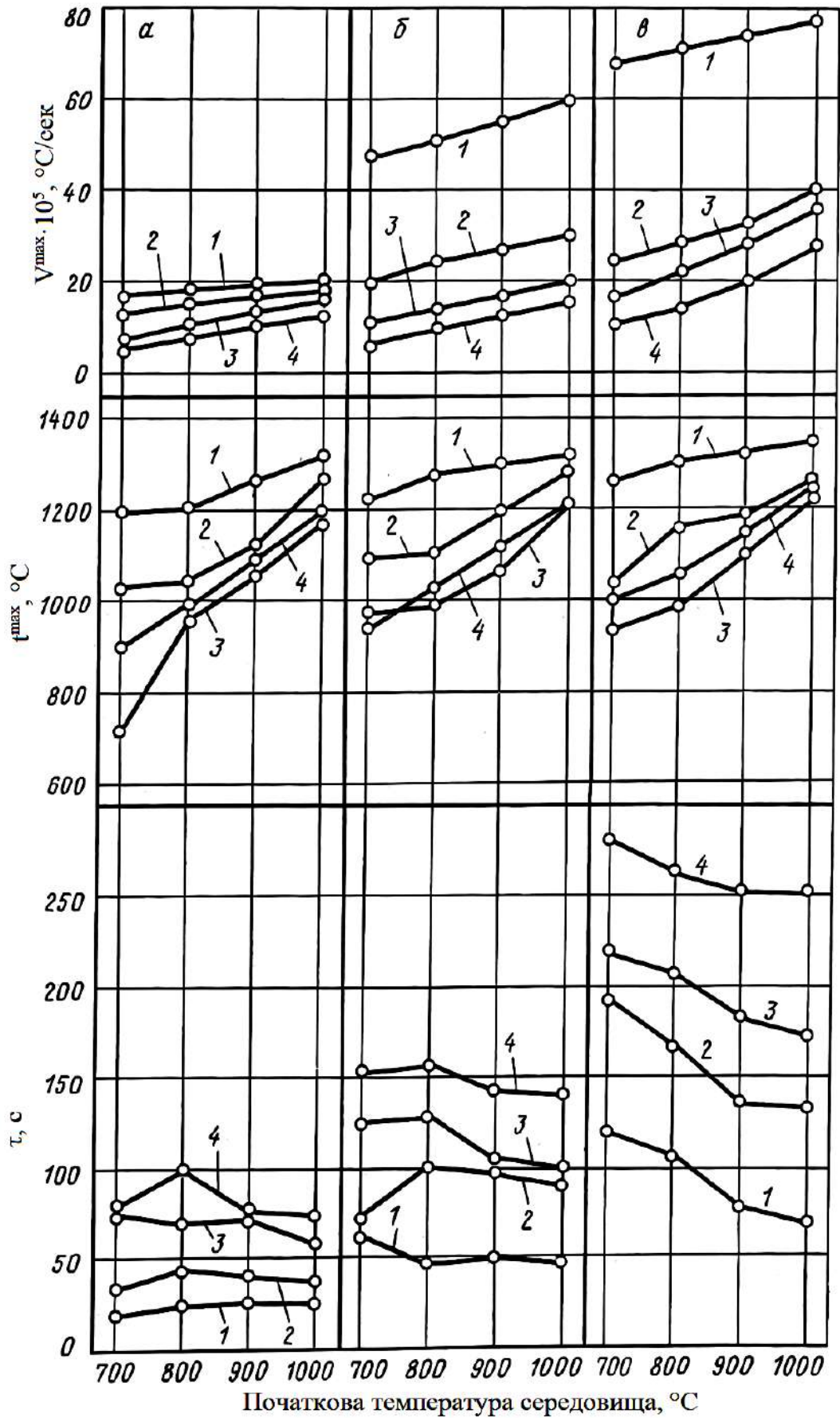


Рис. 2.8. Кінетичні та температурні закономірності горіння паливних частинок крупністю 1-2 (а), 2-3 (б) і 3-5 мм (в); 1-4 – те саме, що й на рис. 2.5

З метою кількісної оцінки термограм горіння паливних частинок із цього погляду було визначено період  $\tau$ , що відповідає температурному рівню процесу не менше  $0,8t^{\max}$ . Збільшення крупності палива в усіх випадках сприяє досягненню більш високих значень  $\tau$ , які знижуються в міру переходу від антрациту до буровугільного напівкоксу. Мала тривалість горіння останнього призводить до різкого скорочення  $\tau$  (приблизно у 2-3 рази порівняно з коксовим дріб'язком), що може бути компенсовано значним підвищенням крупності частинок буровугільного напівкоксу порівняно з коксовим дріб'язком.

Відповідно, якщо вважати режим роботи на коксовому дрібноті оптимальним, під час переходу на антрацит слід дещо знизити крупність аглопаліва.

Інтенсивне горіння високореакційних видів палива, істотно скорочуючи тривалість процесу в умовах агломерації, повинне ускладнити умови теплообміну між палаючою паливною частинкою і прилеглими до неї шихтовими матеріалами, що примикають до неї; при цьому для одержання якісного аглоспека, мабуть, буде необхідно вдатися до збільшення витрат вуглецю на спікання.

## Висновки по основній частині

1. Горіння вуглецю під час агломерації залізорудної шихти має специфічні риси, відмінні від горіння в паливному шарі. До них належать низька концентрація пального, велика киснева зона, відсутність зони відновлення  $\text{CO}_2$ , участь оксидів заліза в окислювально-відновних реакціях та наявність залишкового кисню у відхідних газах.

2. Введення інертного матеріалу в шар впливає на склад газової фази на виході із зони горіння, відрізняючись від умов реальної агломерації. Зниження температури газу за кисневою зоною через теплообмін з шихтою призводить до припинення взаємодії вуглецю з газом раніше, ніж відбувається відновлення  $\text{CO}_2$ .

3. Для досягнення ступеня відновлення  $\text{CO}_2$ , аналогічного горінню чистого палива, в агломерованому шарі потрібна пропорційно більша протяжність зони відновлення через нижчу концентрацію вуглецю. Однак, в реальності ця зона може бути навіть меншою через витрати тепла на нагрівання негорючих матеріалів та випаровування вологи.

4. Співвідношення швидкості горіння вуглецю та об'ємної теплоємності інертного матеріалу визначає межі взаємодії та коливання співвідношення  $\text{CO}/\text{CO}_2$  у відхідному газі.

5. При горінні вуглецю в шихті, що містить оксиди заліза, відбуваються окислювально-відновні реакції між  $\text{CO}$  та оксидами заліза ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), що призводить до збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  та зменшення  $\text{CO}$  в газовій фазі. Зі збільшенням вмісту вуглецю в шихті зростають ступінь відновлення оксидів заліза та ступінь використання кисню.

6. Існує необхідність пошуку заміників коксового дріб'язку для агломерації залізних руд, серед яких на даний момент використовується антрацитовий штиб, а потенційними заміниками можуть бути штучні види палива з вугілля, що не спікається. Заміна виду палива впливає на

агломераційний процес, зокрема на розвиток окисно-відновних реакцій та особливості горіння частинок.

7. Різні види палива мають різну температуру займання: найнижча у буровугільного напівкоксу, потім йдуть кокс зі слабоспінного вугілля, коксовий дріб'язок та антрацит (з найвищою температурою займання). Збільшення розміру частинок призводить до незначного підвищення температури займання для всіх видів палива.

8. Буровугільний напівкокс та кокс зі слабоспінного вугілля характеризуються високою реакційною здатністю та спалахують практично миттєво після введення в реакційну зону (малий або відсутній підготовчий період). Антрацит має найдовший підготовчий період, що пов'язано з його високою щільністю та малою поверхнею реагування.

9. Тривалість горіння частинки палива залежить від середнього діаметра частинки, початкової температури середовища та типу палива, що описується емпіричним рівнянням. Різні види палива мають різні значення емпіричних коефіцієнтів у цьому рівнянні.

10. Реакційна здатність палива практично однаково впливає на тривалість горіння частинок будь-якої дослідженої крупності. Збільшення крупності частинок сприяє розвитку дифузійного режиму горіння та зменшує вплив температури на ступінь вигорання. Характер кривої швидкості горіння є приблизно однаковим для всіх видів палива, але абсолютні значення швидкості відрізняються.

11. Найвищі швидкості горіння спостерігаються при використанні буровугільного напівкоксу, а подрібнення його частинок зменшує вплив реакційної здатності на швидкість процесу. Антрацит демонструє найнижчу швидкість горіння. Термограми горіння різних видів палива мають характерні відмінності, що відображають особливості їхнього горіння. Високореакційні види палива демонструють чіткий максимум температури, а низькореакційні – розмитий максимум або тривалий період ізотермічного горіння для великих частинок.

12. Температурний рівень, що досягається під час горіння, корелює з максимальною швидкістю горіння вуглецю. Коксовий дріб'язок та антрацит мають схожий температурний рівень. При переході на антрацит замість коксового дріб'язку може бути доцільним зменшення крупності палива. Використання високореакційних видів палива може ускладнити теплообмін між палаючою частинкою та шихтовими матеріалами, що може потребувати збільшення витрати вуглецю для забезпечення якісного спікання.

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1. Законодавство в області охорони праці

Основними законами України, визначаючими основні положення про охорону праці, є конституція України, Закон України «Про охорону праці» і Кодекс законів про працю України.

Закон України «Про охорону праці» є одним з найважливіших законодавчих актів і визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності. Стаття 155 закону України «Про охорону праці» свідчить: «Жодне підприємство, цех, ділянка виробництва не повинні бути прийняті і введені в експлуатацію, якщо на них не створені безпечні і нешкідливі умови праці».

У основі технологічного процесу, що розглядається в даній випускній кваліфікаційній роботі магістра лежить процес підготовки металургійної сировини з піритних огарків. Нормованими параметрами технологічного процесу є маса початкових матеріалів, що переробляються, швидкість їх переміщення, об'єм, тиск і температура на різних стадіях процесу. У зв'язку з високотемпературною переробкою великої кількості матеріалів виробниче середовище сталеплавильного цеху характеризується наявністю ряду шкідливих і небезпечних чинників, таких як: підвищена температура, загазованість і запиленість повітря робочих зон.

#### 3.2. Розрахункова частина

У цеху площею  $100 \times 40$  м<sup>2</sup> з середнім виділенням пилу, кіптяви і диму мінімальна освітленість по нормі складає 50 лк. Освітлення здійснюється світильниками прямого світла. Напруга в освітлювальній мережі 127 В. Потужність вживаних електроламп 500 Вт.

Визначимо потужність освітлювальної установки і кількість ламп, необхідну для створення загального рівномірного освітлення. Розрахунок виконаний методом ватів.

Потужність освітлювальної установки по методу ватів визначається за допомогою наступної формули:

$$W = E \cdot s \cdot k / 1000 \cdot E_{\text{ср}}, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

де  $E$  – нормована освітленість, лк;  $s$  – площа освітлюваного приміщення,  $\text{м}^2$ ;  $k$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення ламп і освітлювальної арматури, а також через поглинання частини світлового потоку нальотом вольфраму, що осідає на стінках колби лампи. Для приведеного прикладу при середніх виділеннях кіптяви, пилу і диму коефіцієнт запасу для ламп розжарювання  $k = 1,5$ ;  $E_{\text{ср}}$  – середня горизонтальна освітленість в лк при рівномірному розміщенні освітлювальних приладів загального освітлення при витраті  $1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . При потужності ламп  $500 \text{ Вт}$ , напрузі  $127 \text{ В}$  і світильниках прямого світла приймаємо  $E_{\text{ср}} = 4,15$ .

Підставивши цифрові значення у формулу (3.1), одержимо:

$$W = 50 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 1,5 / 1000 \cdot 4,15 = 72,3 \text{ кВт}.$$

Необхідна кількість ламп вибраної потужності визначається за виразом:

$$N = W_1 / W_2, \text{ шт}, \quad (3.2)$$

де  $W_1$  – потужність освітлювальної установки, Вт;  $W_2$  – потужність однієї лампи, Вт.

При потужності однієї лампи  $500 \text{ Вт}$ , необхідна кількість ламп дорівнює:

$$N = 72300 / 500 = 145 \text{ шт}.$$

Таким чином, для створення загального рівномірного освітлення потужність освітлювальної установки повинна складати 72,3 кВт, необхідна кількість ламп – 145 штук, при потужності однієї лампи 500 Вт.

## Висновки по охороні праці

1. У роботі передбачено застосування прогресивного устаткування, що дозволяє локалізувати шкідливі викиди в навколишнє середовище і забезпечити умови праці, що відповідають санітарним нормам.

2. Агломераційний цех по ступеню пожежної небезпеки відноситься до категорії «Г», як виробництво, пов'язане з обробкою матеріалів, що не згорають, в розплавленому стані і супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Дефіцит коксової дрібниці на аглофабриках спонукає вишукувати для спікання залізних руд нові види твердого палива, технологічні процеси одержання та сировинні джерела яких зумовлюють їхню різну хімічну активність, зокрема реакційну здатність і горючість. Використання таких видів палива супроводжується суттєвими змінами показників агломераційного процесу.

2. В даній дипломній роботі проаналізовані дослідження, котрі проводили на лабораторній агломераційній установці, що має чашу внутрішнім діам. 126 мм. Для виміру кількості повітря, що надходить у шар на чашу встановлювали надставку з кінцевою діафрагмою. Під час досліду за допомогою газовідбірної трубки, розташованої на рівні постілі, відбирали 6-12 проб агломераційного газу, що аналізували на хроматографі ХЛ-4. Спікання вели при такій витраті коксу, щоб вміст кисню у газах, що відходять, був більше 3 %. У цьому випадку відновна область у зоні горіння не утворюється, а відношення  $CO:CO_2$  у газах, що відходять, практично не залежить від вмісту в них вільного кисню.

3. Дослідження показали, що відношення  $CO:CO_2$  в газі залежить як від крупності частинок коксу, так і від гранулометричного складу матеріалу, що спікається.

4. Вплив крупності палива (середній діаметр частинок  $d_k$ ) аналогічний впливу крупності спікаємого матеріалу. При температурах агломераційного процесу горіння вуглецю локалізується на зовнішній поверхні частинок коксу, тому зі збільшенням крупності палива товщина зони горіння зростає, і умови догоряння покращуються.

5. Повнота згоряння палива при агломерації визначається як фізичною структурою шару (крупність частинок коксу і спікаємого матеріалу, якість огрудкування, фільтраційні характеристики шару - поразність і просвіт), так і газодинамічними умовами ведення процесу спікання.

6. Застосування для шарового процесу різних видів палива, що мають підвищені швидкості горіння, супроводжується зниженням ступеня використання вуглецю, оскільки значна частина його згоряє тільки до CO, скорочуючи тим самим можливий прихід тепла.

7. Використання різних видів палива в якості заміників коксової дрібниці для агломерації залізних руд повинне в силу зазначених закономірностей їх горіння супроводжуватися підвищенням витрати вуглецю палива на спікання для підтримки на колишньому рівні загального приходу тепла від спалювання палива і, отже, міцніших показників аглоспеку. Відновлювальний характер продуктів згоряння високореакційного палива типу буровугільного півкоксу може бути підставою для використання його при виробництві металізованих залізорудних матеріалів.

8. Горіння вуглецю під час агломерації залізорудної шихти має специфічні риси, відмінні від горіння в паливному шарі. До них належать низька концентрація пального, велика киснева зона, відсутність зони відновлення CO<sub>2</sub>, участь оксидів заліза в окислювально-відновних реакціях та наявність залишкового кисню у відхідних газах.

9. Введення інертного матеріалу в шар впливає на склад газової фази на виході із зони горіння, відрізняючись від умов реальної агломерації. Зниження температури газу за кисневою зоною через теплообмін з шихтою призводить до припинення взаємодії вуглецю з газом раніше, ніж відбувається відновлення CO<sub>2</sub>.

10. Для досягнення ступеня відновлення CO<sub>2</sub>, аналогічного горінню чистого палива, в агломерованому шарі потрібна пропорційно більша протяжність зони відновлення через нижчу концентрацію вуглецю. Однак, в реальності ця зона може бути навіть меншою через витрати тепла на нагрівання негорючих матеріалів та випаровування вологи.

11. Співвідношення швидкості горіння вуглецю та об'ємної теплоємності інертного матеріалу визначає межі взаємодії та коливання співвідношення CO/CO<sub>2</sub> у відхідному газі.

12. При горінні вуглецю в шихті, що містить оксиди заліза, відбуваються окислювально-відновні реакції між СО та оксидами заліза ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), що призводить до збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  та зменшення СО в газовій фазі. Зі збільшенням вмісту вуглецю в шихті зростають ступінь відновлення оксидів заліза та ступінь використання кисню.

13. Існує необхідність пошуку заміників коксового дріб'язку для агломерації залізних руд, серед яких на даний момент використовується антрацитовий штиб, а потенційними заміниками можуть бути штучні види палива з вугілля, що не спікається. Заміна виду палива впливає на агломераційний процес, зокрема на розвиток окисно-відновних реакцій та особливості горіння частинок.

14. Різні види палива мають різну температуру займання: найнижча у буровугільного напівкоксу, потім йдуть кокс зі слабоспінлого вугілля, коксовий дріб'язок та антрацит (з найвищою температурою займання). Збільшення розміру частинок призводить до незначного підвищення температури займання для всіх видів палива.

15. Буровугільний напівкокс та кокс зі слабоспінлого вугілля характеризуються високою реакційною здатністю та спалахують практично миттєво після введення в реакційну зону (малий або відсутній підготовчий період). Антрацит має найдовший підготовчий період, що пов'язано з його високою щільністю та малою поверхнею реагування.

16. Тривалість горіння частинки палива залежить від середнього діаметра частинки, початкової температури середовища та типу палива, що описується емпіричним рівнянням. Різні види палива мають різні значення емпіричних коефіцієнтів у цьому рівнянні.

17. Реакційна здатність палива практично однаково впливає на тривалість горіння частинок будь-якої дослідженої крупності. Збільшення крупності частинок сприяє розвитку дифузійного режиму горіння та зменшує вплив температури на ступінь вигорання. Характер кривої швидкості

горіння є приблизно однаковим для всіх видів палива, але абсолютні значення швидкості відрізняються.

18. Найвищі швидкості горіння спостерігаються при використанні буровугільного напівкоксу, а подрібнення його частинок зменшує вплив реакційної здатності на швидкість процесу. Антрацит демонструє найнижчу швидкість горіння. Термограми горіння різних видів палива мають характерні відмінності, що відображають особливості їхнього горіння. Високореакційні види палива демонструють чіткий максимум температури, а низькореакційні – розмитий максимум або тривалий період ізотермічного горіння для великих частинок.

19. Температурний рівень, що досягається під час горіння, корелює з максимальною швидкістю горіння вуглецю. Коксовий дріб'язок та антрацит мають схожий температурний рівень. При переході на антрацит замість коксового дріб'язку може бути доцільним зменшення крупності палива. Використання високореакційних видів палива може ускладнити теплообмін між палаючою частинкою та шихтовими матеріалами, що може потребувати збільшення витрати вуглецю для забезпечення якісного спікання.

20. У роботі передбачено застосування прогресивного устаткування, що дозволяє локалізувати шкідливі викиди в навколишнє середовище і забезпечити умови праці, що відповідають санітарним нормам.

21. Агломераційний цех по ступеню пожежної небезпеки відноситься до категорії «Г», як виробництво, пов'язане з обробкою матеріалів, що не згорають, в розплавленому стані і супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я.

## Перелік бібліографічних джерел

1. Тимошенко, Д. О., Кухар, В. В., & Воловненко, І. В. (2024). Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменим та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза Midrex H2 та виплавою в дуговій сталеплавильній печі. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*, (2), 49-54.
2. Zhao, Jia P., Chin E. Loo, and Rodney D. Dukino. "Modelling fuel combustion in iron ore sintering." *Combustion and Flame* 162.4 (2015): 1019-1034.
3. Lovel, Roy R., Keith R. Vining, and Mark Dell'Amico. "The influence of fuel reactivity on iron ore sintering." *ISIJ international* 49.2 (2009): 195-202.
4. Яременко, С. В., Савельєв, С.Г. Підвищення ефективності використання палива при агломерації залізорудної сировини. Diss. 2020.
5. Kojo Alex, Acquah, et al. "Review on alternative fuel application in iron ore sintering." *Ironmaking & Steelmaking* 48.10 (2021): 1211-1219.
6. Wang, Jie, et al. "Performance optimization and efficient application of highly reactive iron coke: Research progress and future trend." *steel research international* 94.9 (2023): 2300092.
7. Zhou, Hao, et al. "Effect of coke ratio on pore structure evolution in the high-temperature zone of sintering bed." *Journal of the Energy Institute* 100 (2022): 189-196.
8. Cheng, Zhilong, et al. "Characteristics of charcoal combustion and its effects on iron-ore sintering performance." *Applied Energy* 161 (2016): 364-374.
9. Hu, Jie, et al. "A multilevel prediction model of carbon efficiency based on the differential evolution algorithm for the iron ore sintering process." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 65.11 (2018): 8778-8787.
10. Nowok, Jan W., et al. "Sintering behaviour and strength development in various coal ashes." *Fuel* 69.8 (1990): 1020-1028.
11. Kailong Zhou, Xin Chen, Min Wu, Sheng Du, Jie Hu, Yosuke Nakaniishi, "A New CO/CO<sub>2</sub> Prediction Model Based on Labeled and Unlabeled Process

Data for Sintering Process", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.17, no.1, pp.333-345, 2021.

12. Dingxiang Wang, Xiaogang Zhang, Hua Chen, Leyuan Wu, Yu Jiang, Mingyang Lv, "Sintering Condition Recognition of Rotary Kiln Based on Multi-variable Time Series Data with Long-tail Distribution", 2021 China Automation Congress (CAC), pp.2710-2715, 2021.

13. Ruizheng Jiang, Jundong Zhang, Yuanyuan Tang, Chuan Wang, Jinhong Feng, "A Collective Intelligence Based Differential Evolution Algorithm for Optimizing the Structure and Parameters of a Neural Network", IEEE Access, vol.8, pp.69601-69614, 2020.

14. Sheng Du, Min Wu, Xin Chen, Jie Hu, Weihua Cao, "Intelligent Integrated Control for Burn-Through Point to Carbon Efficiency Optimization in Iron Ore Sintering Process", IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol.28, no.6, pp.2497-2505, 2020.

15. Sheng Du, Min Wu, Xin Chen, Weihua Cao, "An Intelligent Control Strategy for Iron Ore Sintering Ignition Process Based on the Prediction of Ignition Temperature", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.67, no.2, pp.1233-1241, 2020.

16. Pei-Fa Sun, Jian-Yu Li, Ming-Yu Li, Zhan-Yang Gao, Hu Jin, Sang-Woon Jeon, Jun Zhang, "Tour Multi-Route Planning With Matrix-Based Differential Evolution", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.25, no.9, pp.11753-11767, 2024.

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Манько Катерина Анатоліївна

Автор

Науковий керівник / Експерт

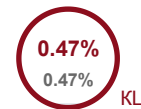
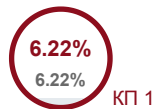
Манько Катерина АнатоліївнаЧупринов Є.В.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

## Обсяг знайдених подібностей

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



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

7297

Кількість слів

51389

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 навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Б	22
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	Б	0
Парафрази (SmartMarks)	a	29

## Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір 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

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Барна Ігор Олександрович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	94 1.29 %
2	Щербак Ігор Сергійович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	73 1.00 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра металургійних технологій

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Студентки Манько Катерини Анатоліївни  
(прізвище, ім'я та по-батькові)  
групи ЗМЧМ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Дослідження процесів горіння в агломераційному шарі з метою покращення умов аглопроцесу

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>56</u>
таблиць	<u>2;</u>
схем і рисунків	<u>13;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>7.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Досліджено вплив низької концентрації пального, наявності інертних матеріалів та оксидів заліза на склад газової фази та температурні режими в активній зоні. Проаналізовано окислювально-відновні реакції між вуглецем та оксидами заліза, а також вплив вмісту палива на ступінь відновлення та використання кисню. Експериментально визначено залежність складу газу та температури за товщиною активної зони при різних витратах вуглецю. Досліджено математичну модель, що описує зміну концентрації газових компонентів у шарі агломераційної шихти з урахуванням основних особливостей горіння. Запропоновано рекомендації щодо вибору та підготовки заміників коксового дріб'язку для оптимізації процесу агломерації. Зокрема, при переході на високореакційні види палива може знадобитися корегування їхньої крупності та витрати на спікання для забезпечення якісного аглоспека.

**Недоліки кваліфікаційної роботи**

бакалавра  
(бакалавра, магістра)

*Проаналізовані результати досліджень, які стали основою дипломної роботи, можливо, не розкриті у повній мірі, що, тим не менше, не впливає на цінність роботи. Також наявні деякі стилістичні та пунктуаційні помилки.*

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

*Під час написання дипломної роботи Манько К.А. проявила себе, як спеціалістка у галузі металургії. Всі поставлені завдання були виконані вчасно та у повній мірі. Дипломна робота виконана самостійно студенткою із незначною допомогою наукового керівника щодо оформлення та напрямків пошуку інформації.*

**Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра**

*Робота може бути використана в якості теоретичної бази для впровадження нових технологічних рішень у агломераційний процес.*

**Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра – відмінна**

Керівник

Коренко Марина Георгіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

доцент, к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 07 » 06 2025 р.

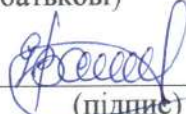
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра металургійних технологій

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ бакалавра  
(бакалавра, магістра)  
Студентки \_\_\_\_\_ Манько Катерини Анатоліївни  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи	
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження процесів горіння в агломераційному шарі з метою покращення умов аглопроцесу</u>	
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
Дослідження особливостей горіння в шарі, що агломерується, та особливості аглопроцесу при заміні коксового дріб'язку іншими видами палива	
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Робота направлення на вирішення актуального питання удосконалення теорії агломераційного процесу з метою розширення технологічних прийомів та покращеного ведення процесу</u>	
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
Суттєвих недоліків не виявлено	
<b>Рекомендації:</b> робота рекомендується до захисту в екзаменаційній комісії	
Рецензент	Чупринов Євген Валерійович (прізвище, ім'я та по-батькові)

доцент, к.т.н.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

  
(підпис)

**ДОВІДКА**  
**про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами**

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;  
 навчальної/наукової праці;  
 наукових матеріалів

«Дослідження процесів корозії в амінеразійному середовищі»,  
з метою покращення <sup>(назва)</sup> умов амоніації

автором/авторами або виконавцем якої є:

Міланько Катерина Анатоліївна

(ПІБ)

Каф. металургійних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 56 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом  
«Strike Plagiarism».

Рівень оригінальності становить 93,78%.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до

захисту в ЕК

на засіданні

(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

Каф. металургійних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

№ 12. Державного університету економіки і технологій від «12» 06 2025 р. протокол

Керівник підрозділу

(підпис)

Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.2025



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ДОВІДКА**

про підготовку студента-випускника

Манько Катерини Анатоліївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної  
роботи магістра

Дослідження процесів горіння в агломераційному  
шарі з метою покращення умов аглопроцесу

Керівник кваліфікаційної роботи:

доцент, к.т.н., Коренко М.Г.

(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	Коренко М.Г.	зарах	07.06		
2	Основна частина	Коренко М.Г.	зарах	07.06		
3	Охорона праці	Коренко М.Г.	зарах	07.06		

Завідувач кафедри

  
(підпис)

Д.О. Кассім

(ініціали, прізвище)

« 07 » 06 20<sup>25</sup> р.