

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>Денна</u>

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ШЕВЧЕНКО ОЛЕГ ЄВГЕНОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Дослідження газопроникності агломераційного шару та аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару
(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)

Завідувач кафедри

ЗАТВЕРДЖУЮ


(підпис)

проф. Д.О. Кассім
(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)
2025 року

«04» 04

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

ШЕВЧЕНКУ ОЛЕГУ ЄВГЕНОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра:

Дослідження газопроникності агломераційного шару та
аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару

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» квітня 2025 р. № 240-ст

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 газопроникності шару агломерату;
аналіз можливостей підвищення газопроникності шару агломерату

4.2. Основна частина: аналіз режиму руху газу при агломерації
залізородних матеріалів; дослідження газодинамічного опору окремих зон
шару агломерованої шихти

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 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	11.04.2025	
2.	Основна частина	18.04.2025	
3.	Охорона праці	25.04.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.2025	
5.	Виконання графічної частини	16.05.2025	
6.	Подання роботи до кафедри	07.06.2025	
7.	Захист роботи в ЕК	.06.2025	

Студент

Керівник кваліфікаційної роботи



 (підпис)


 (підпис)

Шевченко О.Є.
 (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	67		
			Слайди			
2	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.01	Фізична характеристика до- сліджуваного агломерату	1		
3	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.02	Схема аеродинамічного прила- ду для визначення газопроник- ності шару сипучих матеріалів	1		
4	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.03	Залежність порозності ϵ від се- реднього розміру шматка d аг- ломерату в шарі	1		
5	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.04	Газодинамічні та температурні характеристики процесу «спі- кання» магнезиту	1		
6	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.05	Зміна температури і градієнта тисків (пунктирні лінії) по ви- соті шару	1		

					ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Відомість випускної роботи бакалавра		Літ.	Лист	Листів	
Розробив		Шевченко О.Є.		07.06.25			Д	Т	1	1
Керівник		Коренко М.Г.		07.06.25			ННТІ ДУЕТ каф. Металургійних технологій гр. МТ-22ск			
Н.контр.		Кассім Д.О.		07.06.25						
Затв.		Кассім Д.О.		07.06.25						

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 67 сторінок, 12 рисунків, 4 табл., 38 джерел.

Об'єкт дослідження – газопроникність агломераційного шару.

Мета роботи – дослідження газопроникності агломераційного шару та аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару.

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

Було проаналізовано теоретичні засади опису газового потоку в пористому шарі, включаючи безрозмірні критерії (Z , n , Re) та рівняння для розрахунку втрат напору, з посиланням на існуючі наукові підходи та суперечності серед дослідників. Основний акцент було зроблено на дослідженні характеру взаємодії газового потоку зі спекаємими матеріалами, зокрема, шляхом використання показників газодинамічної роботи аглофабрики ПівдГЗК та лабораторних експериментів.

В дипломній роботі детально висвітлено зміну газодинамічних параметрів (k_1 , k_2 , Z , n , α) по висоті агломераційного шару та їх взаємозв'язок з температурними полями та структурними перетвореннями матеріалу. Особливу увагу було приділено аналізу газодинамічного опору окремих зон агломерованого шару (зони агломерату, плавлення, інтенсивного нагрівання, сушіння, часткового перезволоження), критично оцінюючи існуючі методики вимірювань та інтерпретації результатів інших дослідників. Було проведено оцінку застосовності різних емпіричних рівнянь для опису газового потоку, і виявлено діапазон відносних похибок. Надані табличні дані та графіки ілюструють динаміку цих параметрів протягом процесу агломерації, підтверджуючи, що режим руху газу змінюється від майже ламінарного до турбулентного, залежно від зони, але для установки в цілому він близький до турбулентного. Зроблено висновок про ключову роль структурних перетворень шихти у формуванні

газодинамічного опору та про необхідність високої початкової газопроникності шихти та міцності грудочок. Запропоновано більш надійний метод оцінки питомого опору зон та обґрунтовано, що максимальний опір мають зони інтенсивного нагрівання та плавлення.

АГЛОМЕРАЦІЯ, ГАЗОПРОНИКНІСТЬ, ЛАМІНАРНИЙ РУХ,
ТУРБУЛЕНТНИЙ РУХ, ГОРІННЯ ПАЛИВА

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1. Дослідження газопроникності шару агломерату	10
1.2 Аналіз можливостей підвищення газопроникності шару агломерату	22
Висновки по аналітичній частині	32
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	34
2.1. Аналіз режиму руху газу при агломерації залізородних матеріалів	34
2.2. Дослідження газодинамічного опору окремих зон шару агломерованої шихти	45
Висновки по основній частині	53
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	55
3.1. Розрахункова частина	57
Висновки по охороні праці	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
Перелік бібліографічних джерел	64

ВСТУП

Агломераційний процес є одним з ключових етапів підготовки залізорудної сировини до доменного виробництва. Ефективність цього процесу значною мірою визначається фізико-хімічними властивостями агломераційного шару, серед яких важливе місце займає його газопроникність. Газопроникність агломераційного шару безпосередньо впливає на швидкість фільтрації повітря через шихту, інтенсивність тепло- та масообміну, рівномірність протікання хімічних реакцій, а отже, на продуктивність агломераційної машини та якість одержуваного агломерату.

Недостатня газопроникність шару може призводити до зниження швидкості агломерації, нерівномірного спікання шихти, збільшення вмісту дрібних фракцій у агломераті та підвищення енергоспоживання. З іншого боку, надмірна газопроникність може спричинити нерівномірний розподіл тепла та газів по висоті шару, що також негативно впливає на якість агломерату.

Розуміння закономірностей формування газопроникності агломераційного шару та факторів, що на неї впливають, є важливим для оптимізації технологічних параметрів агломераційного процесу. Дослідження газопроникності дозволяє розробляти ефективні методи контролю та регулювання цього параметра з метою підвищення продуктивності агломераційних машин, поліпшення якості агломерату та зниження собівартості виробництва.

Актуальність дослідження газопроникності агломераційного шару зумовлена постійним прагненням металургійних підприємств до підвищення ефективності виробництва, зниження енергетичних витрат та поліпшення екологічних показників агломераційного процесу. В умовах зростаючих вимог до якості залізорудної сировини та необхідності використання дрібнодисперсних концентратів, питання забезпечення

оптимальної газопроникності агломераційного шару набуває особливого значення.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Дослідження газопроникності шару агломерату

Для розрахунку втрат напору газу ΔP у шарі сипучих матеріалів користуються модифікованою формулою Дарсі-Вейсбаха (Фаннінга):

$$\Delta P = \lambda \frac{H}{d_{\text{екв}}} \cdot \frac{W^2 \gamma}{2g}, \quad (1.1)$$

де λ – безрозмірний коефіцієнт опору;

H – висота шару, м;

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр пустот, м;

W – швидкість газу в пустотах, м/сек;

γ – питома вага газу, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/сек².

Основні розбіжності виникають під час визначення W і $d_{\text{екв}}$.

Швидкість газу в порожнинах можна обчислити, виходячи з кількості газу Q , що проходить за одиницю часу через вільний перетин насипаного шару:

$$W = \frac{Q}{F F_{\text{пит}}}. \quad (1.2)$$

Тут F – площа вільного перерізу, м²;

$F_{\text{пит}}$ – питомий вільний переріз шару, м²/м².

Точність розрахунку W залежить від методики визначення $F_{\text{пит}}$. Так, у роботі [1] визначали вільний переріз методом киплячого шару й одержали занижені результати, тому що не враховували коефіцієнт лобового опору частинок, які перебувають у підвішеному стані. У роботі [2] заливали порожнечі розплавленим алюмінієм і потім визначали F планіметруванням перерізів у процесі стругання болванки. Дослідники теж отримали занижені результати. Метод, представлений у роботі [3], є одним із найточніших. На нього було прийнято рішення орієнтуватися для визначення $F_{\text{пит}}$ у шарі агломерату різних фракцій. Як видно з табл. 1.1, величина $F_{\text{пит}}$ у всіх випадках приблизно відповідає порозносності шару.

Еквівалентний діаметр пустот являє собою величину, аналогічну гідравлічному діаметру, і розраховується за формулою

$$d_{\text{екв}} = 4 \frac{\varepsilon}{s}, \quad (1.3)$$

де ε – порозність шару (питомий об'єм пустот), $\text{м}^3/\text{м}^3$;

s – поверхня шматків в одиниці об'єму, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Під час розрахунку $d_{\text{екв}}$ за формулою (1.3) припускається участь усієї поверхні шматків шару в опорі руху газу. Однак, у роботах [1, 4, 5] відзначено нелогічність такого припущення, та й саме визначення поверхні сипких матеріалів шару, що складається зі шматків неправильної форми, – завдання доволі важке.

Відхилення величини поверхні шматка неправильної форми від величини поверхні кулі, куба та інших правильних тіл може бути враховане у формулі (1.3) коефіцієнтом k , що являє собою площу одного шматка, яка припадає на його об'єм.

Таблиця 1.1

Порозність і питомий вільний переріз шару агломерату

Номер дослідю	Фракція, мм	Порозність шару, м ³ /м ³	F _{пит.} , м ² /м ²		
			мінімальне	максимальне	середнє
1	6-10	0,700	0,475	0,895	0,685
2	6-10	0,546	0,410	0,670	0,535
3	6-10	0,528	0,390	0,660	0,525
4	10-15	0,593	0,472	0,710	0,591
5	10-15	0,557	0,450	0,665	0,556
6	15-20	0,636	0,542	0,733	0,638
7	15-20	0,609	0,525	0,688	0,606
8	20-25	0,657	0,600	0,720	0,660
9	20-25	0,630	0,550	0,710	0,630

Для правильних тіл коефіцієнт форми k не залежить від їхнього розміру, а для пористих шматків агломерату залежить. Щоб довести це, автори дослідження [3] визначили його для агломерату ПівдГЗК і НКГЗК фракцій 2-3, 3-6, 5-10, 10-15, 15-20 і 20-25 мм у такий спосіб.

У мірний посуд із водою засипали певну кількість шматків агломерату даної фракції. Витіснений об'єм води дорівнював об'єму відомої кількості шматків. Знаючи середній розмір шматка d і його об'єм V_0 , отриманий шляхом ділення витісненого об'єму води на кількість шматків за формулою

$$V_0 = yd^3, \quad (1.4)$$

знаходимо коефіцієнт об'єму y (рис. 1.1, а).

Шматки агломерату, витягнуті з води, розстеляли тонким шаром на спеціальній підстилці та витримували певний час. За різницею у вазі сухого і вологого агломерату визначали кількість адсорбованої ними води. Так само визначали кількість води, адсорбованої кулями з того ж матеріалу, і за кількістю води, адсорбованої однією кулею відомого діаметра, визначали товщину водяної плівки. Припускалося при цьому, що на поверхні шматків агломерату і куль вода розтікається шаром однакової товщини. Потім за відомою кількістю і товщиною водяної плівки, адсорбованої шматком агломерату, і відомим середнім розміром його визначали поверхню шматків s_0 і коефіцієнт поверхні для різних фракцій агломерату (рис. 1.1, б).

$$x = \frac{s_0}{d^2}. \quad (1.5)$$

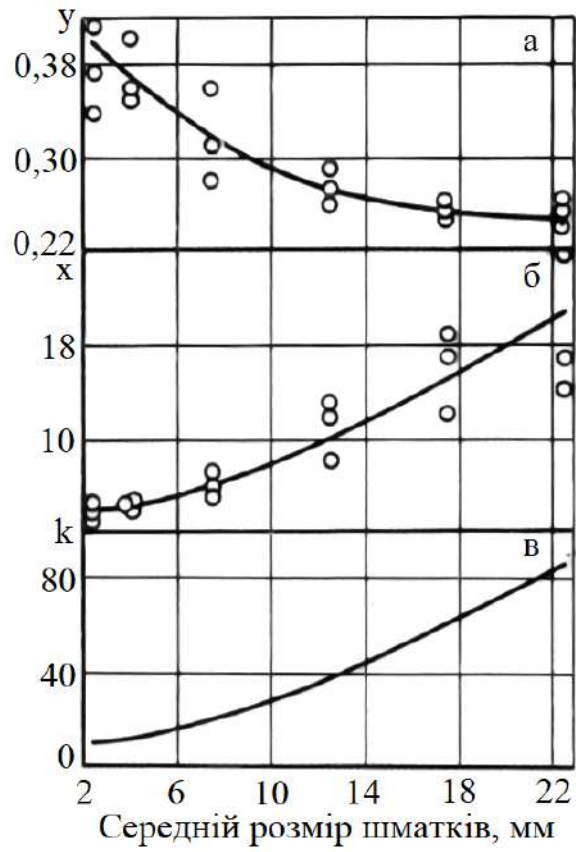


Рис. 1.1. Залежність коефіцієнтів об'єму (а), поверхні (б) і форми (в) від середнього розміру шматків агломерату в шарі

Тепер за відомими значеннями коефіцієнтів поверхні x і об'єму y можна знайти коефіцієнт форми шматків для різних фракцій:

$$k = \frac{x}{y}. \quad (1.6)$$

Як видно з рис. 1, в, коефіцієнт форми агломерату зростає зі збільшенням розміру шматка в шарі. Отже, за різного гранулометричного складу шару коефіцієнт форми неоднаковий і має визначатися особливо, що вводить додаткові похибки в розрахунок втрат напору газу.

Доменні печі зазвичай працюють у турбулентному і нестійкому турбулентному газодинамічному режимі, коли втрати напору газу на тертя об поверхню становлять дуже малу величину (близько 2 % [6]) і, отже, поверхня шматків відіграє невелику роль у загальних втратах напору. У зв'язку з цим замість еквівалентного діаметра порожнин зручніше користуватися середнім розміром елементарного каналу c у перерізі, розрахованому, виходячи з таких передумов.

Згідно з табл. 1.1, середній вільний переріз шару сипучого матеріалу чисельно дорівнює порозності шару. Середню площу елементарного каналу в перерізі (m^2) можна знайти за формулою

$$F_n = \frac{\varepsilon}{a}. \quad (1.7)$$

де a – кількість шматків, що припадає на одиницю площі:

$$a = \frac{5}{2} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{y d^2}; \quad (1.8)$$

y – коефіцієнт площі, що дорівнює коефіцієнту об'єму (за дослідними даними).

У загальному вигляді площу елементарного каналу в перерізі можна виразити як

$$F_{\Pi} = zc^2, \quad (1.9)$$

де z – середній коефіцієнт пори (згідно з геометричною побудовою, $z = 1 - y$).

З виразів (1.7)-(1.9) знаходимо середній розмір елементарного каналу в перерізі:

$$c = \frac{0,633 \cdot \varepsilon^{0,5} \cdot y^{0,5} \cdot d}{(1-y)^{0,5} (1-\varepsilon)^{0,5}} \quad (1.10)$$

Тоді формула для розрахунку втрат напору запишеться у вигляді

$$\Delta P = \lambda \frac{2\gamma}{g} \cdot \frac{HQ^2(1-\varepsilon)^{0,5}(1-y)^{0,5}}{F^2 \cdot \varepsilon^{2,5} \cdot y^{0,5} \cdot d \cdot 0,633}, \quad (1.11)$$

а модифіковане число Рейнольдса - у вигляді

$$Re = \frac{0,633y^{0,5} \cdot dQ}{Fv(1-\varepsilon)^{0,5}(1-y)^{0,5} \cdot \varepsilon^{0,5}}, \quad (1.12)$$

де v – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу, м²/сек.

Таблиця 1.2

Фізична характеристика досліджуваного агломерату

Номер досліджу	Фракція, мм	Співвідношення фракцій, %	Середній розмір шматка, м	Висота шару, м	Порозність, м ³ /м ³
1	20-25	90	0,0161	0,220	0,572
	3-6	10			
2	20-25	70	0,0102	0,205	0,540
	3-6	30			
3	20-25	50	0,0075	0,180	0,476
	3-6	50			
4	20-25	33	0,0087	0,300	0,528
	10-15	33			
	3-6	33			
5	15-20	33	0,0111	0,330	0,572
	10-15	33			
	5-10	33			
6	15-20	42	0,0127	0,265	0,574
	10-15	42			
	5-10	16			
7	15-20	53	0,0134	0,330	0,572
	10-15	33			
	5-10	14			

Закінчення таблиці 1.2

Фізична характеристика досліджуваного агломерату

Номер досліджу	Фракція, мм	Співвідношення фракцій, %	Середній розмір шматка, м	Висота шару, м	Порозність, м ³ /м ³
8	3-6	100	0,0045	0,100	0,508
9	3-6	100	0,0045	0,090	0,464
10	3-6	100	0,0045	0,085	0,438
11	5-10	100	0,0075	0,200	0,558
12	5-10	100	0,0075	0,190	0,537
13	5-10	100	0,0075	0,180	0,513
14	10-15	100	0,0125	0,230	0,593
15	10-15	100	0,0125	0,220	0,576
16	10-15	100	0,0125	0,210	0,557
17	15-20	100	0,0175	0,400	0,636
18	2-3	100	0,0025	0,135	0,553

Для перевірки отриманих теоретичних залежностей авторами дослідження [3] визначено експериментально втрати напору в шарі агломерату різних фракцій (табл. 1.2) у ділянці нестійкого турбулентного режиму при числах Рейнольдса 33-3000.

Випробування проводили в аеродинамічній трубі діам. 190 і висотою 500 мм (рис. 1.2). Швидкість повітря на порожній переріз ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) варіювалася в межах від 0,2 до 3,24 м/сек. Залежність між коефіцієнтом опору

$$\lambda = \frac{\Delta P g F^2 \varepsilon^{2,5} y^{0,5} \cdot d \cdot 0,633}{2 \gamma H Q^2 (1-\varepsilon)^{0,5} (1-y)^{0,5}}, \quad (1.13)$$

і модифікованим числом Рейнольдса представлена на рис. 1.3.

Математичною обробкою отриманих результатів виявлено залежність

$$\lambda = \frac{4,8}{Re^{0,2}}, \quad (1.14)$$

аналогічну формулам, виведеним для різних матеріалів іншими дослідниками [3, 5].

Газовий потік, рухаючись порожнинами в шарі сипучих матеріалів, втрачає частину напору від місцевих опорів – вигинів, розширень і звужень. Ці втрати пропорційні квадрату швидкості газу, а коефіцієнт місцевих опорів не є функцією швидкості газу. Розкид експериментальних точок на рис. 3, мабуть, якоюсь мірою зумовлений і тим, що не враховано коефіцієнт місцевих опорів.

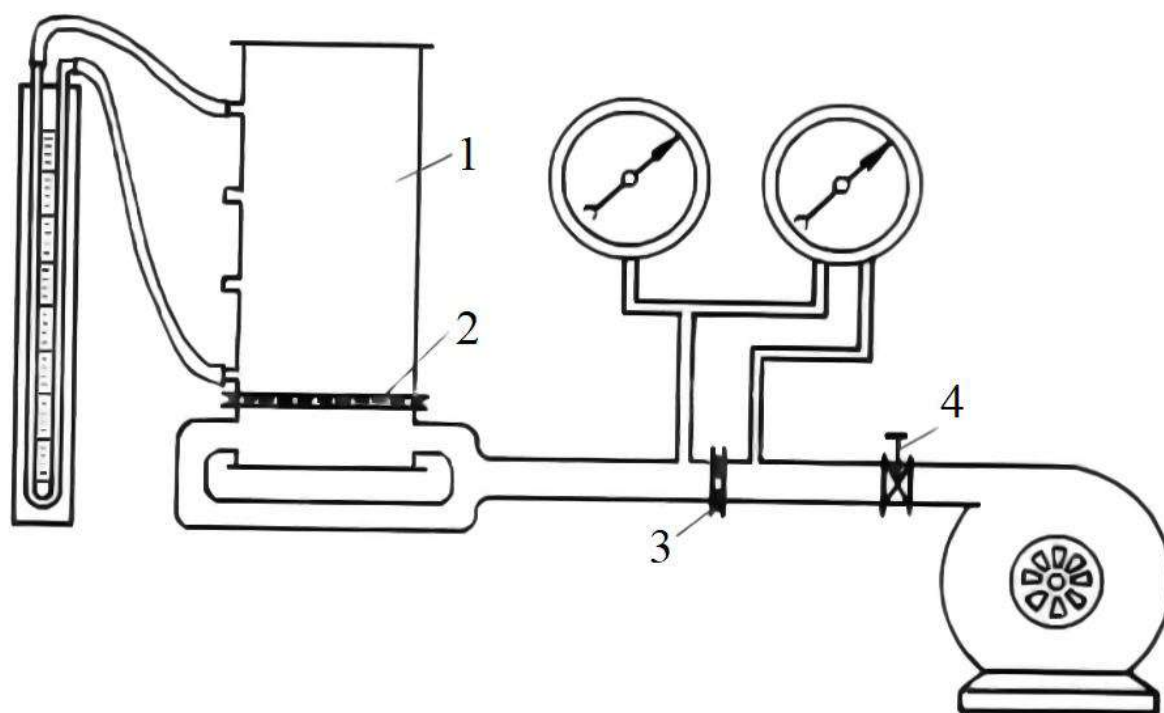
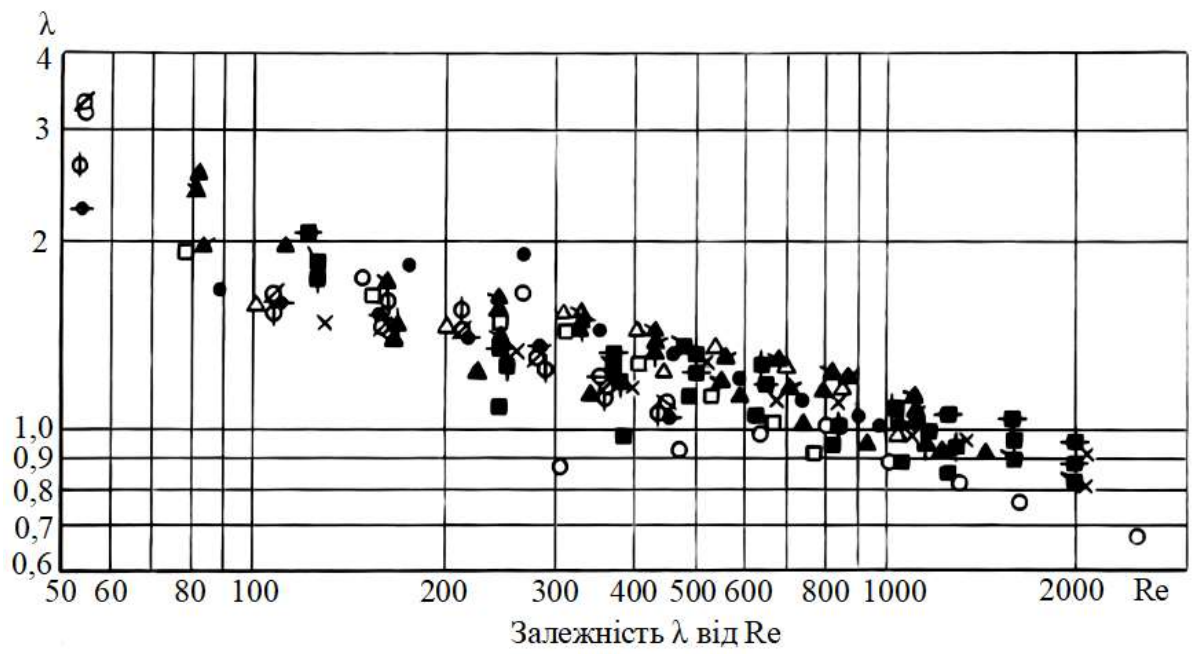


Рис. 1.2. Схема аеродинамічного приладу для визначення газопроникності шару сипучих матеріалів: 1 – циліндр для випробовуваного матеріалу; 2 – решітка; 3 – діафрагма; 4 – регулювальний шибєр

Рис. 1.3. Залежність λ від Re

Середній вільний переріз шару агломерату чисельно дорівнює його порозності (вільному об'єму порожнин). Зі зростанням середнього розміру шматків агломерату їхній коефіцієнт форми збільшується. Під час розрахунку втрат напору замість еквівалентного діаметра порожнин зручніше користуватися середнім розміром елементарного каналу в перерізі.

1.2 Аналіз можливостей підвищення газопроникності шару агломерату

Газопроникність сипучого матеріалу, яким є доменна шихта, великою мірою залежить від порозності та гранулометричного складу. Одним із перших систематично дослідив і теоретично обґрунтував залежність порозності від гранулометричного складу К. Фурнас [7]. Він розглядав двокомпонентну систему з куль (свинцевий дріб), а також з руди, вапняку та інших матеріалів і вивів теоретичні криві залежності питомого об'єму порожнечі (порозності) від співвідношення компонентів у суміші та діаметрів частинок. Закономірностям, виведеним К. Фурнасом для шару куль, певною мірою підкоряються і кускові матеріали (кокс, вапняк, руда та ін.), форма яких суттєво відрізняється від куль [7-9].

Нині, коли шихта доменних печей здебільшого складається з агломерату і коксу, необхідно знати, якою мірою ці матеріали підкоряються виведеним раніше закономірностям для куль і якою мірою відхиляються від них. Дослідження порозності і газопроникності шару агломерату проводили в циліндричній посудині (аеродинамічній трубі) діам. 0,4 м і висотою 1,0 м. Навіски агломерату брали від 20 до 100 кг. Досліджували вузькі фракції, а також дво- і трикомпонентні суміші. Мінімальний розмір шматка становив 2 мм, максимальний 50 мм. Агломерат обережно засипали в аеродинамічний циліндр, заміряли об'єм, фіксували вагу, потім продували

повітря і визначали втрати напору за однакової витрати. Після цього агломерат ущільнювали струшуванням. Заміри повторювали доти, доки агломерат не переставав ущільнюватися.

У результаті досліджень виявилось можливим виявити залежність порозності шару агломерату від середнього розміру шматка (рис. 1.4). Графік побудовано в логарифмічних координатах. Крива 1 являє собою залежність порозності від середнього розміру за обережного й одноманітного зсипання агломерату в посудину, умінка мінімальна; крива 2 – порозність за максимального ущільнення. Криві 3 і 4 являють собою теоретичну порозність шару однакових куль за кубічного об'ємно-ноцентрованого і найбільш щільного гранецентрованого пакування відповідно. З графіка видно, що порозність шару однакових куль не залежить від їхнього діаметра. Залежність порозності шару агломерату може бути описана емпіричним рівнянням

$$\varepsilon = Cd^n, \quad (1.15)$$

де ε – порозність, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

d – середній розмір шматка агломерату, мм;

C і n – емпіричні коефіцієнти, що дорівнюють відповідно 1,26 і 0,16 для пухкого укладання, 1,47 і 0,23 – для щільного.

Зі збільшенням шматка агломерату порозність шару збільшується. Пояснюється це тим, що агломерат – пористий матеріал, і що більший шматок, то більшу кількість пор він має. У шарі ж порозність складається з пір окремих шматків і міжкускових просторів на відміну від шару куль, де порозність представлена тільки міжкусковими просторами.

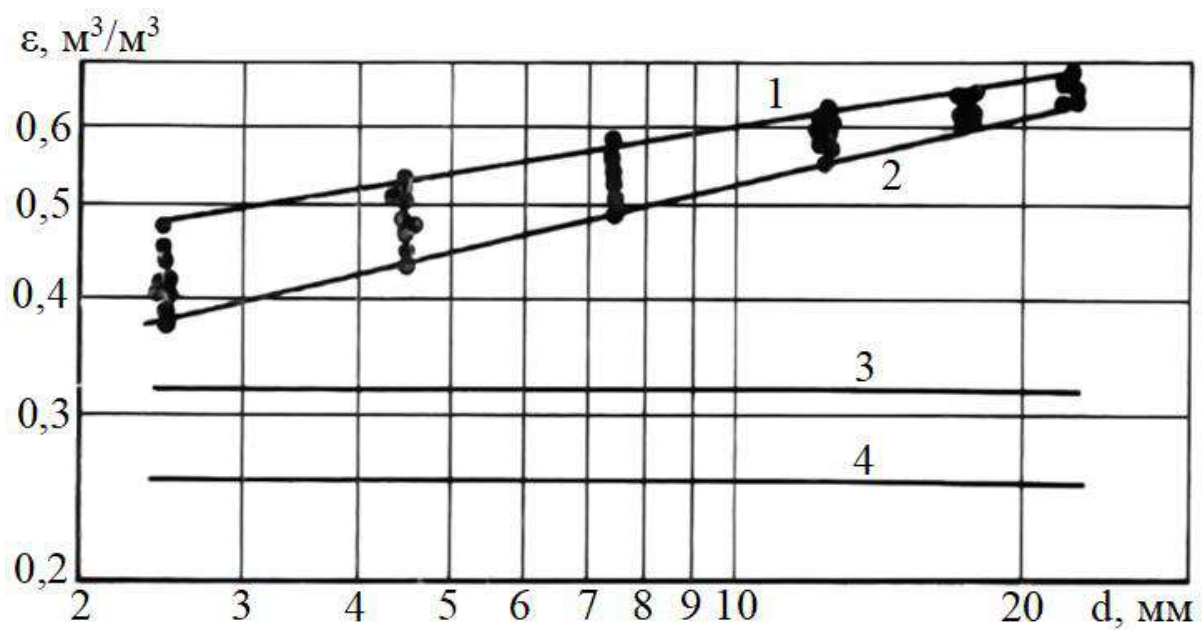


Рис. 1.4. Залежність порозності ϵ від середнього розміру шматка d агломерату в шарі

Якщо найщільнішому пакуванню куль відповідає крива 4 (рис. 1.4), а найщільнішому укладанню шару агломерату – крива 2, то обсяг міжкускових просторів для шарів і шматків агломерату однаковий (у першому наближенні).

Різниця порозності шару агломерату за найбільш щільного укладання (крива 2) і порозності шару куль (крива 4) буде являти собою тоді питомий об'єм пір шматків шару агломерату. Тому порозність двокомпонентної суміші агломерату підпорядковується дещо іншим закономірностям, ніж порозність двокомпонентної суміші куль. Якщо для шарів мінімум порозності спостерігається за вмісту дрібної фракції в суміші 25-30 %, і він тим значніший, чим більший інтервал розмірів великої та дрібної фракцій, то для агломерату мінімуму порозності відповідає 100 % вмісту дрібноти в суміші (рис. 1.5). Порозність дво- і трикомпонентної суміші агломерату має залежність від співвідношення фракцій, що описується формулою

$$\varepsilon = C \left(\frac{1}{\sum \frac{a_i}{d_i}} \right)^n, \quad (1.16)$$

тут a_i – частка фракції із середнім розміром d_i .

У зв'язку з особливостями зміни порозності для сумішей агломерату зміниться і уявлення про газопроникність їх. Втрати тиску в суміші куль максимальні в ділянці мінімальної порозності; для двокомпонентної суміші – за вмісту 25-40 % дрібноти (рис. 1.6, крива 3).

У суміші фракцій агломерату максимуму втрат тиску відповідає 100 % вмісту дрібноти (рис. 1.6, криві 1 і 2).

Таким чином, щоб отримати задовільну газопроникність суміші куль, достатньо уникати сумішей, що містять 25-40 % дрібниці.

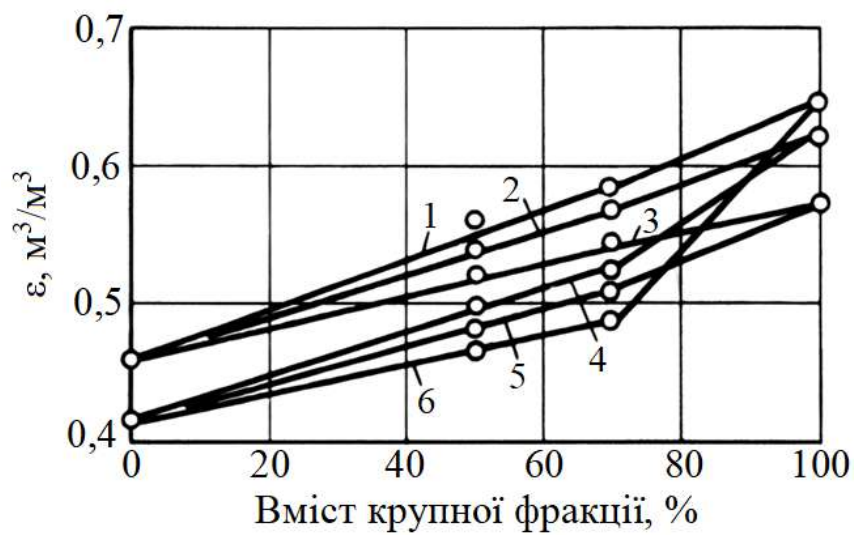


Рис. 1.5. Зміна порозності двокомпонентного шару агломерату залежно від фракційного складу: 1 – фракції 3-6 і 20-25 мм; 2 – те саме, 3-6 і 15-20 мм; 3 – те саме, 3-6 і 10-15 мм; 4 – те саме, 2-3 і 15-20 мм; 5 – те саме, 2-3 і 10-15 мм; 6 – те саме, 2-3 і 20-25 мм.

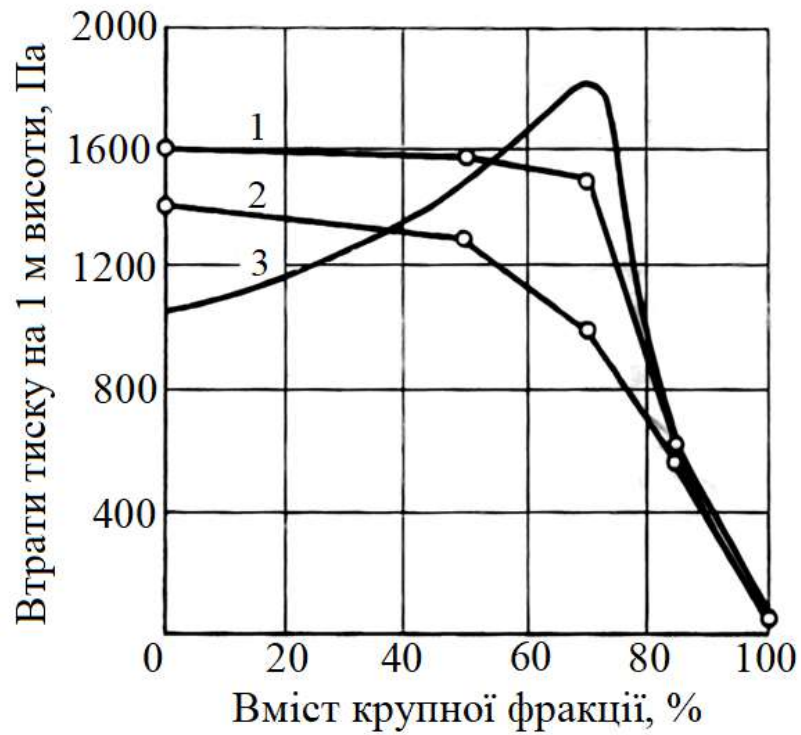


Рис. 1.6. Зміна втрат тиску в шарі двокомпонентного сипу залежно від складу за газопроникності $0,155 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$:
 1 – шар агломерату фракцій 2-3 і 20-25 мм; 2 – те саме, 3-6 і 20-25 мм;
 3 – шар куль 3 і 30 мм (за даними [10])

Для агломерату зменшення будь-якої кількості дрібниці веде до підвищення газопроникності шару. Є кілька способів підвищення газопроникності агломераційного насипу: 1) відсівати дрібні фракції з рядового агломерату; 2) розсіювати на вузькі фракції й окремо завантажувати в доменну піч; 3) вводити в рядовий агломерат проміжну фракцію.

Перший спосіб найдієвіший, але через брак агломерату не застосовується на заводах або застосовується частковий відсів дрібниці. Другий спосіб, хоча ефективність його доведена [11, 12], вимагає додаткового обладнання в скіповій ямі на старих печах, а там, де воно побудоване, погано працює внаслідок запиленості атмосфери, частих поломок та інших причин. Третій спосіб вільний від перерахованих недоліків. Проміжними фракціями можуть служити коксовий «горішок» фракції 25-40 і 10-25 мм, подрібнений до цих же меж сирий вапняк і сира руда. Додавання коксового «горішка» в агломерат чудове тим, що він замінює в шихті частину металургійного коксу, який набагато дорожчий за «горішок».

Дані про дослідження газопроникності в трикомпонентній суміші фракцій, якою представлений агломерат, наведено на рис. 1.7. На кожному куті рівностороннього трикутника відкладено 100 % відповідного компонента, поле трикутника відповідає складу будь-якої трикомпонентної суміші. Перпендикулярно площині трикутника відкладено втрати напору, що відповідають сумішам за постійної витрати повітря, які являють собою просторову поверхню АБВГДЕ.

Гранулометричний склад досліджуваного рядового агломерату приблизно відповідає точці 1, втрати напору – точці 1'. У разі додавання будь-якої кількості коксового «горішка» в суміш гранулометричний склад її змінюватиметься в напрямку точки 2, а втрати напору зменшуватимуться в напрямку точки 2'. Точка 2 (рис. 1.7) відповідає гранулометричному

складу суміші в разі додавання в рядовий агломерат 22 % (за об'ємом) коксового «горішка». Цьому гранулометричному складу відповідають втрати напору в точці 2'. Втрати напору для цього випадку знизилися на 15 %.

Застосування коксового «горішка» в суміші з агломератом як розпушувача шихти для доменної плавки було здійснено вперше на «Каметсталі». Середньорічні техніко-економічні показники доменної плавки із застосуванням і без застосування коксового «горішка» для однієї з доменних печей мають такі значення:

Показники	I період	II період	III період
Продуктивність за добу, т	1527	1601	1715
Дугтя:			
кількість, м ³ /хв	2071	2265	2417
температура, °С	978	984	885
тиск, ат	2,30	2,19	2,24
Перепад тисків, ат	1,29	1,19	1,26
Витрата агломерату, % на 1 т чавуну	94,3	86,1	94,8
Витрата руди, % на 1 т чавуну	5,7	13,9	5,2
Витрата коксу, кг/т чавуну:			
металургійного фракції 4-40 мм	594	468	498
коксового «горішка» фракції 10-40 мм	–	143	124
Інтенсивність плавки за коксом, т/(м ³ ·добу)	0,931	1,026	1,083
Вміст СО ₂ в колошниковому газі, %	15,4	15,3	16,0
Аналіз чавуну:			
Si, %	0,79	0,67	0,56
S, %	0,035	0,033	0,035

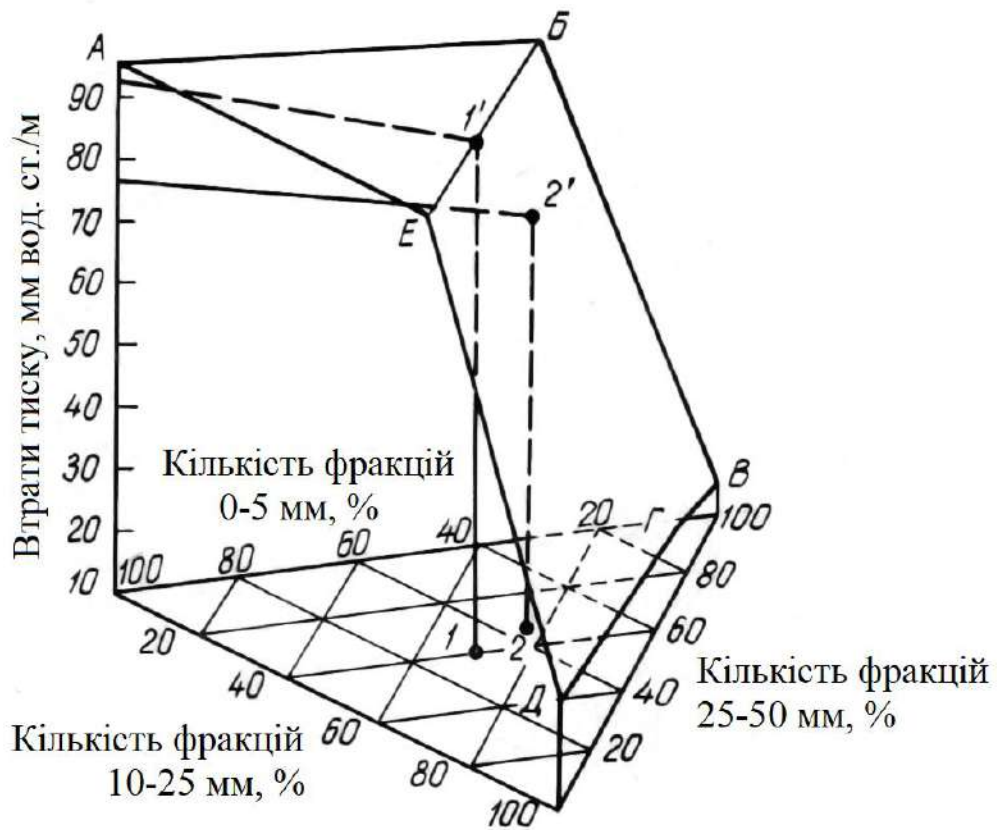


Рис. 1.7. Залежність втрат тиску в шарі агломерату від гранулометричного складу трикомпонентної суміші

Введення коксового «горішка» в агломерат підвищило загальну газопроникність доменної шихти, внаслідок чого з'явилася можливість додати кількість дуття і форсувати хід доменної печі. При підвищенні інтенсивності плавки відбулося збільшення виробництва чавуну, ступінь використання газів збільшився. Крім того, зменшилася витрата металургійного коксу за рахунок заміни деякої його частини коксовим «горішком».

Висновки по аналітичній частині

1. Для розрахунку втрат напору газу в шарі сипучих матеріалів використовується модифікована формула Дарсі-Вейсбаха, де ключовими параметрами є коефіцієнт опору, висота шару, еквівалентний діаметр пустот та швидкість газу в пустотах.

2. Середній вільний переріз шару агломерату чисельно близький до його порозності. Зі збільшенням середнього розміру шматків агломерату їхній коефіцієнт форми зростає. Для розрахунку втрат напору в турбулентному режимі доцільніше використовувати середній розмір елементарного каналу в перерізі замість еквівалентного діаметра пустот.

3. Газопроникність доменної шихти, зокрема агломерату, визначається її порозністю та гранулометричним складом.

4. Закономірності залежності порозності від гранулометричного складу, виведені К. Фурнасом для куль, певною мірою справедливі й для кускових матеріалів, але існують відхилення, особливо для агломерату.

5. На відміну від двокомпонентної суміші куль, де мінімум порозності спостерігається при певному співвідношенні фракцій, для агломерату мінімум порозності відповідає 100 % вмісту дрібної фракції. Втрати тиску в шарі двокомпонентної суміші агломерату є максимальними при 100 % вмісту дрібної фракції, тоді як для куль максимум втрат спостерігається при 25-40 % дрібноти.

6. Для підвищення газопроникності агломераційного насипу пропонується кілька способів: відсів дрібних фракцій, роздільне завантаження вузьких фракцій та введення проміжної фракції (наприклад, коксового «горішка»).

7. Додавання коксового «горішка» в агломерат є ефективним способом підвищення газопроникності, що дозволяє збільшити інтенсивність доменної плавки та знизити витрату металургійного коксу.

Дослідження трикомпонентних сумішей агломерату підтверджують, що додавання коксового «горішка» покращує газопроникність шару.

8. Практичне застосування коксового «горішка» на «Каметсталі» показало позитивний вплив на техніко-економічні показники доменної плавки, зокрема збільшення продуктивності та зниження витрати металургійного коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз режиму руху газу при агломерації залізорудних матеріалів

Знання режиму руху газу при агломерації залізорудних матеріалів дозволяє обґрунтовано вибирати рівняння, що описують закономірності руху газу в шарі, і правильно оцінювати межі їх застосування. Як було показано раніше [15], при зміні структури шару режим руху газу в ньому досить повно визначається безрозмірним критерієм

$$Z = \frac{k_2 W}{k_1 v}, \quad (2.1)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти газодинамічного опору, м^{-2} і м^{-1} ;

W – швидкість руху газу, м/сек ;

v – кінематична в'язкість газу, $\text{м}^2/\text{сек}$.

Якщо втрати напору газу в окремих зонах агломерованого шару, виражені рівнянням

$$\Delta p = h \rho_0 v_T k_1 W_0 \alpha + h \rho_0 k_2 (W_0 \alpha)^2 \frac{T}{T_0}, \quad (2.2)$$

де Δp – втрати напору в шарі висотою h , м ;

ρ_0 – щільність газу при $T_0 = 273^\circ \text{К}$, кг/м^3 ;

W_0 – швидкість газу на вході в шар при T_0 , м/сек ;

α – коефіцієнт, що враховує зміну кількості газу за рахунок окислювально-відновних реакцій, процесів розкладання карбонатів і гідратних сполук та випаровування вологи;

T – температура газового потоку, °К,
представити у вигляді

$$\Delta p = pW_0 + sW_0^2, \quad (2.3)$$

то

$$Z = \frac{k_2 W_0 \alpha T}{k_1 v_T T_0} = \frac{s W_0}{p}. \quad (2.4)$$

При спіканні агломераційної шихти коефіцієнти p і s визначаються за методом, викладеним у роботі [16].

Щодо режиму газового потоку при агломерації залізородних матеріалів досі немає єдиної думки. Приймаючи його турбулентним, деякі дослідники [17-19] для розрахунку втрат напору газу в шарі використовують рівняння

$$\Delta p = kW^n, \quad (2.5)$$

вважаючи $n = 2$.

У роботах [20, 21] залежність між швидкістю всмоктування газу (повітря) і вакуумом розглядається як близька до лінійної. Багато дослідників (наприклад, [22-24]) величину показника ступеня n в рівнянні (2.5) приймають в межах від 1 до 2. У даному розділі дипломної роботи проаналізовано дослідження, в яких характер взаємодії газового потоку зі спекаємими матеріалами в процесі агломерації досліджено за допомогою безрозмірних критеріїв Z , n і Re , для визначення яких використано показники газодинамічної роботи машин аглофабрики ПівдГЗК (рис. 2.1), а також результати лабораторних експериментів і розрахунків.

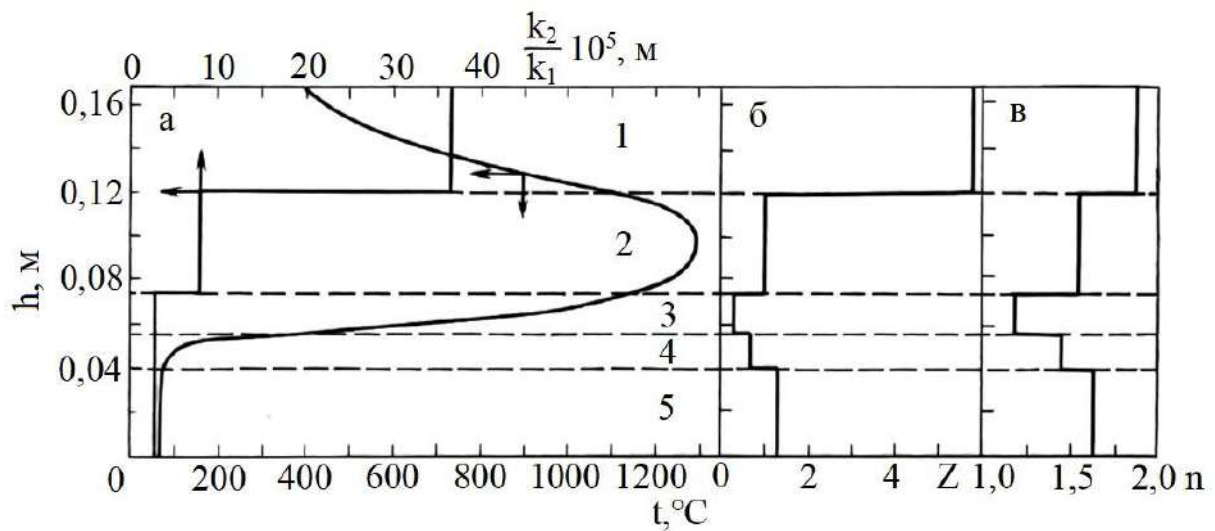


Рис. 2.1. Зміна визначального параметра шару k_2/k_1 [15] і температури (а), критерію режиму руху газу Z (б) і показника ступеня n (в) по висоті шару h , що спікається, з шихти аглофабрики ПівдГЗК: 1-5 – досліджувані зони

Таблиця 2.1

Газодинамічні параметри окремих зон шару шихти,
що спікається, аглофабрики ПівдГЗК ($W_0 = 0,42$ м/сек)

Зони	h, м	$k_1 \cdot 10^{-5}, \text{ м}^{-2}$	$k_2, \text{ м}^{-1}$	$\frac{k_2}{k_1} \cdot 10^{-5}, \text{ м}$	α	Z	n
1 (агломерату)	0,041	1,00	36,6	36,60	1,000	5,80	1,88
2 (плавлення)	0,050	3,50	27,7	7,76	1,012	1,04	1,55
3 (інтенсивного нагрівання)	0,019	6,00	17,8	2,97	1,092	0,31	1,19
4 (сушіння)	0,014	7,35	22,2	3,03	1,330	0,65	1,45
5 (часткового перезволоження)	0,042	8,70	26,7	3,07	1,417	1,29	1,63
Разом	0,166	4,81	28,0	5,81	1,145	1,00	1,53

Як видно з рис. 2.1, зміна показників режиму руху газу відповідає зміні визначального параметра шару k_2/k_1 в окремих зонах. В цілому перетворення вологої шихти в агломерат супроводжується зростанням k_2/k_1 і турбулізацією газового потоку. При сушінні практично неперезволоженої шихти визначальний параметр шару дещо зменшується (табл. 2.1) і режим руху газу змінюється в бік ламінарного, посилюючись у зв'язку зі скороченням коефіцієнта α і дією температурного фактора, вплив якого на величини Z , n і Re ілюструється на рис. 2.2.

Зміна значень Z (0,31-5,80) і n (1,19-1,88) при русі газу по висоті шару свідчить про зміну закону опору. Характер взаємодії газового потоку зі спікаємими матеріалами в окремих зонах змінюється при цьому в широких межах – практично від ламінарного до турбулентного. Однак для всього шару в цілому режим газового потоку знаходиться в перехідній області зміни закону опору $\lambda' = f'(Z)$ [1]: $Z = 1,00$; $n = 1,53$.

Згідно з дослідженнями закономірностей руху газу в ході агломерації за допомогою критеріїв Re , n [22] і Re , Re/d_e [25], зміна останніх в процесі спікання шару відбувається в повній відповідності зі зміною швидкості фільтрації повітря і середньої температури шару.

Намагаючись уникнути труднощів, пов'язаних з вираженням числа Рейнольдса через еквівалентний діаметр, Д. В. Мітчел [22] замінює d_e площею поверхні частинок в одиниці об'єму, що, однак, не полегшило вирішення задачі. Н. М. Бабушкін, В. Н. Тимофєєв і В. Я. Міллер [25] використовують оригінальний прийом: замість функції $\lambda = f(Re)$ експериментально визначають функцію $\lambda/d_e = f''(Re/d_e)$ і з її допомогою характеризують зміну закону опору при русі газу в шарі.

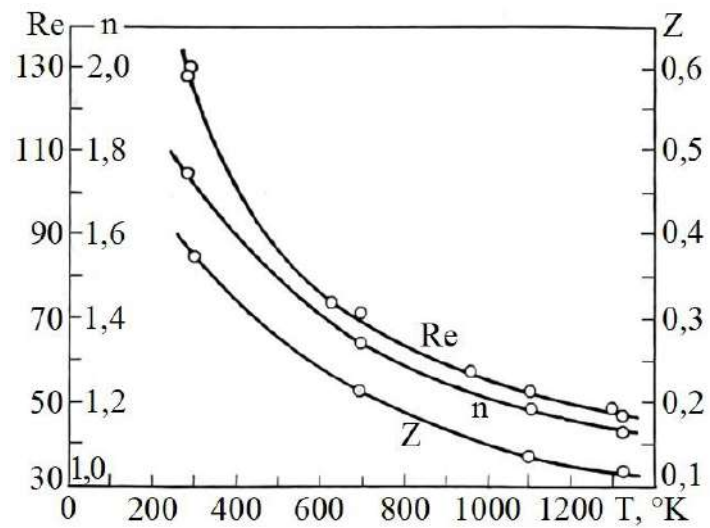


Рис. 2.2. Зміна критеріїв взаємодії газового потоку з пористими матеріалами при русі газу в шарі магнезиту крупністю 1-3 мм в залежності від температури

Але якщо такий прийом в якійсь мірі правомірний при «спіканні» інертних матеріалів, що зберігають фізичну структуру в ході процесу, то в реальних умовах агломерації характеристика режиму руху газу за показником Re/d_e є невірною, оскільки величина $Re/d_e = W/v$ визначає лише співвідношення властивостей газового потоку і не містить в собі параметрів шару.

Результати визначення критерію Z в ході агломерації шихти (по довжині машини) з урахуванням структурних змін шару, що спікається, представлені на рис. 2.3. З нього випливає, що зміна показника режиму руху газу Z в процесі агломерації носить складний характер і в основному лімітується не властивостями газового потоку, а структурними перетвореннями матеріалів (через визначальний параметр шару k_2/k_1).

Таким чином, структурні перетворення в шарі сприяють турбулізації газового потоку (число Z безперервно зростає). Незначне зменшення критерію режиму руху газу на першій хвилині процесу (рис. 2.3, г) пояснюється особливостями початкового періоду [26]: зменшується рівноважна температура випаровування вологи (з 85 до 65 °C), в результаті чого середньозважений коефіцієнт α знижується з 2,36 до 1,30.

Зміна числа Рейнольдса на виході з вакуум-камер по довжині агломашин аглофабрики ПівдГЗК в основному визначається швидкістю, складом і температурою газового потоку. Розрахунок критерію Re при русі газу в горловинах вакуум-камер і на інших ділянках газового тракту установки показує, що режим руху є турбулентним: число Re змінюється в межах від $3 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^6$. Це підтверджується також вимірюванням профілю швидкостей газу в різних ділянках тракту.

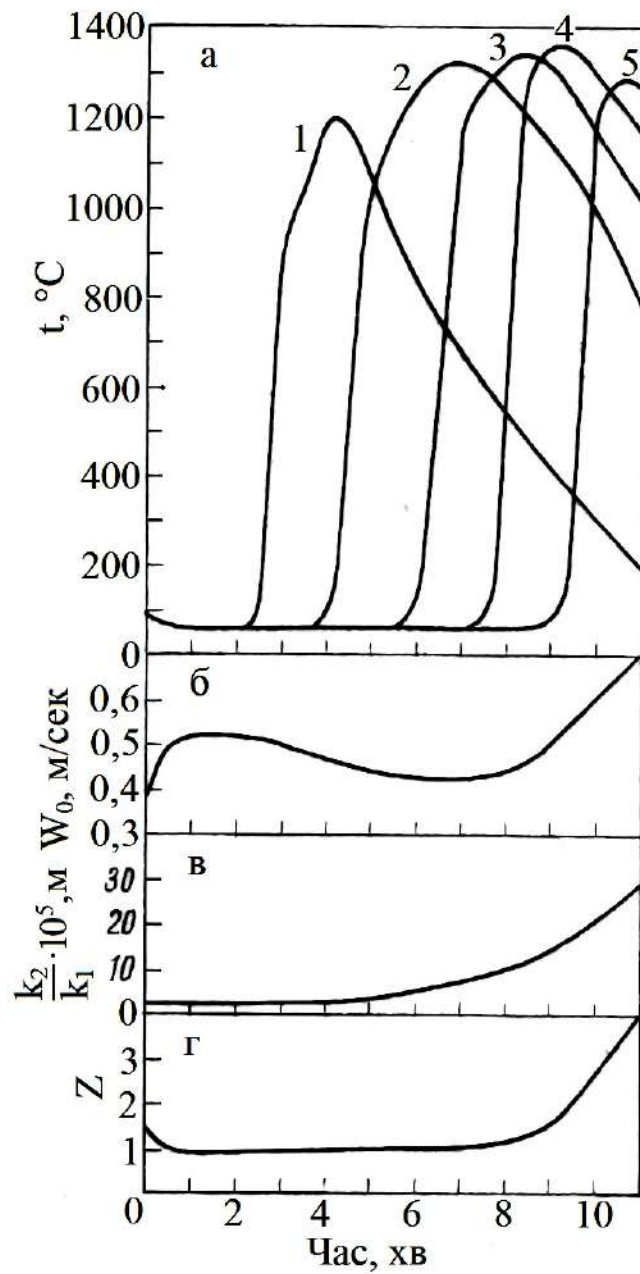


Рис. 2.3. Зміна критеріїв газодинамічних параметрів в ході агломерації шихти фабрики ПівдГЗК: а – температура на горизонтах 1-5; б – швидкість повітря на вході в шар; в – визначальний параметр шару; г – критерій режиму руху газу

Таблиця 2.2

Газодинамічні опори

Аглофабрика	Ділянки опору	P, кН·сек/м ³	s, кН·сек ² / /м ³	W _{0cp} , м/сек	V _T , м ³ /сек	Z	n	k	W ₀ * (м/сек) або V _T (м ³ /сек) при вакуумі, кН/м ²			Відносна похибка (%) при вакуумі, кН/м ²	
									4	7	10	4	10
ПівдГЗК (h _{вих} = 0,24 м; F = 56 м ² ; ексгаустер Д-6500)	А. Шар на шостій хвилині	11,114	27,129	–	–	–	–	64,40	0,229 0,258	0,341 0,341	0,435 0,407	+ 11,4	-6,5
	Б. Шар на агломашині	4,80	20,90	0,560**	–	2,44	1,67	31,10	0,336 0,359	0,475 0,475	0,787 0,568	+6,9	-3,2
	В. Агломераційна машина	0,01795	0,000659	–	105,7**	3,88	1,81	0,000855	65,5 68,4	90,4 90,4	110,4 108,3	+4,3	-1,8
	Г. Агломераційна установка	0,01795	0,001015	–	105,7**	5,96	1,96	0,001250	54,7 56,5	74,7 74,7	90,8 89,5	+3,2	-1,5

Закінчення табл. 2.2

Аглофабрика	Ділянки опору	P, кН·сек/м ³	s, кН·сек ² / /м ³	W _{0cp} , м/сек	V _T , м ³ /сек	Z	n	k	W ₀ * (м/сек) або V _T (м ³ /сек) при вакуумі, кН/м ²			Відносна похибка (%) при вакуумі, кН/м ²	
									4	7	10	4	10
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (h _{вих} = 0,27 м; F = 75 м ² ; екстаустер Д-6500)	А. Шар на дванадцятій хвилині	7,240	49,110	–	–	–	–	72,40	0,221 0,236	0,311 0,311	0,783 0,372	+6,8	-2,8
	Б. Шар на агломашині	6,94	50,32	0,419**	–	3,04	1,70	72,75	0,221 0,235	0,710 0,310	0,782 0,371	+6,4	-3,0
	В. Агломераційна машина	0,01328	0,000772	–	114,6**	6,66	1,90	0,000925	63,9 65,9	87,0 87,0	105,5 104,0	+3,1	-1,5
	Г. Агломераційна установка	0,01328	0,000857	–	114,6**	7,40	1,94	0,001020	61,0 62,6	83,0 83,0	100,5 99,1	+2,7	-1,4

* W₀ – середня швидкість повітря на вході в шар, знайдена за рівняннями (2.3) (у чисельнику) і (2.5) (у знаменнику)

** В робочих умовах

Для аналізу спільної роботи мережі та екстаустера скористаємося даними табл. 2.2, де наведені коефіцієнти p і s , що характеризують газодинамічний опір шару, що спікається, в певний момент (А), всього шару на аглоленті (Б), агломераційних машин з урахуванням додаткових підсмоктувань повітря (В) і агломераційних установок в цілому (Г), включаючи газовий тракт [16]. Знаючи середню швидкість всмоктування повітря по довжині машини і загальну кількість газу, що проходить через екстаустер, неважко визначити відповідні значення Z .

Як видно з табл. 2.2, додаткове підсмоктування холодного повітря робить істотний вплив на режим руху газу (зменшується температура, збільшується його кількість): величина Z зростає з 2,44-3,04 до 3,88-6,66, а з урахуванням впливу газового тракту – до 5,96-7,40. При цьому показник ступеня n змінюється від 1,67-1,70 до 1,81-1,90, а з урахуванням впливу газового тракту – до 1,96-1,94.

На основі отриманих даних було проведено оцінку застосування рівняння (2.5). З цією метою спочатку розраховували W_0 за рівнянням (2.3) при вакуумі 4; 7 і 10 кН/м². Потім при величині W_0 , що відповідає $\Delta p = 7$ кН/м², з умови $pW_0 + sW_0^2 = kW_0^2$ визначали коефіцієнт опору k :

$$k = \frac{p + sW_0}{W_0} \quad (\text{або } k = \frac{\Delta p}{W_0^2})$$

і за рівнянням (2.5) розраховували W_0 при вакуумі 4 і 10 кН/м². Виявилось, що в разі застосування рівняння (5) для різних варіантів відносна похибка дорівнювала +(2,7-11,4) % і -(1,4-6,5) %. Очевидно, що мінімальні цифри відповідають більш турбулентному газовому потоку.

Таким чином, при агломерації методом просмоктування газовий потік взаємодіє з матеріалами, що спікаються, в перехідній області залежності $\lambda' = f(Z)$, охоплюючи широкий діапазон чисел Z . Однак режим руху газу для

агломераційної установки в цілому слід вважати близьким до турбулентного.

2.2. Дослідження газодинамічного опору окремих зон шару агломерованої шихти

Перші спроби оцінити газодинамічний опір окремих зон агломерованого шару були засновані на умоглядних уявленнях і припущеннях. Основи наукового підходу до вирішення питань газодинаміки шару, що спікається, закладені експериментальними роботами [27, 28]. Сутність застосованої в них оригінальної методики досліджень, що дозволила більш обґрунтовано оцінювати газодинамічний опір окремих зон, полягає в одночасному вимірюванні температур і вакууму в декількох фіксованих точках по висоті шару. Автори [27, 28] встановили, що при спіканні різних залізородних матеріалів максимум питомого газодинамічного опору припадає на різні зони.

Г. В. Ксендзик [29] зробив спробу уникнути суто якісної оцінки газодинамічного опору окремих зон і виразити останнє в певних числових одиницях шляхом вирішення балансових рівнянь по вакууму.

Цей метод обробки результатів також не позбавлений недоліків. По-перше, при складанні балансових рівнянь по ділянках для різних моментів часу не враховується можлива зміна витрати повітря в ході експерименту, тобто результати розрахунку достовірні тільки в тому випадку, якщо швидкість просмоктування в моменти часу, обрані для складання рівнянь, залишається постійною. По-друге, в розрахунку не враховується вплив температури на питомий опір зон плавлення і агломерату. Тому підстановка опору зони агломерату, знайденого в якийсь момент часу (з якоюсь середньою температурою), в балансове рівняння, складене для іншого моменту часу, де середня температура агломерату буде відрізнятися від

попередньої, пов'язана з великими похибками розрахунку. Дані автора [29], що характеризують питомий газодинамічний опір окремих зон по ходу експерименту, сильно розрізняються, тому вони не можуть відображати можливих змін у структурі відповідних зон і є наслідком методологічних помилок при обробці результатів експерименту.

Сумнівними є також відомості [29] про відносну величину питомих опорів зон перезволоження і сушіння та інтенсивного нагрівання при спіканні офлюсованої шихти (40 % крейди). Важко уявити ті фізичні явища, в результаті яких, незважаючи на різке збільшення температури, питомий газодинамічний опір зони сушіння та інтенсивного нагрівання в багато разів (в 15,2 рази) зменшується в порівнянні з опором зони перезволоження.

За даними [30-32], найбільший питомий опір має зона максимальних температур. На жаль, цей висновок базується на наближених розрахунках і експериментальних даних, отриманих при «спеканні» кварцитової крихти. У зв'язку з цим висновки авторів про переважний вплив зони максимальних температур не можуть бути беззастережно поширені на результати спекання залізних руд.

На думку Мішарда і його співробітників [33, 34], «опір газовому потоку повністю локалізований і зосереджений в нижньому шарі, до якого ще не дійшов фронт горіння; як тільки фронт горіння досягає цього рівня, опір зони, розташованої вище, стає рівним нулю».

Слід зазначити, що такий висновок не збігається з результатами більшості досліджень і пояснюється занадто великою відстанню (100 мм) між імпульсними трубками для вимірювання тиску; останнє не дозволило автору більш чітко розмежувати окремі зони в спекаєму шарі і оцінити їх відносний опір.

Варто висловити думку, що відносну величину питомого опору окремих зон за експериментальними даними найбільш доцільно оцінювати наступним чином.

На основі результатів вимірювань температури і вакууму на окремих горизонтах, суміщених у часі (рис. 2.4, а), будуються ізотерми та ізобари [29] по ходу експерименту (рис. 2.4, б), за допомогою яких може бути отримано розподіл температури і вакууму по висоті шару в будь-який момент (рис. 2.4, в). Градієнт тисків, що характеризує питомий опір відповідних ділянок, представлений на рис. 2.4, в (штрих-пунктирна лінія). Отримані таким чином результати, незважаючи на відносну простоту обробки, виключають зазначені вище помилки.

З результатів опублікованих робіт і експериментів, проаналізованих в даному розділі дипломної роботи (рис. 2.5), випливає, що в різних умовах максимальним питомим опором можуть володіти ніби всі зони, за винятком агломерату [35]. Однак орієнтовні розрахунки за формулою (8) [36] змушують засумніватися в справедливості такого висновку.

Розглядаючи результати цих розрахунків і вихідні дані (див. таблицю), бачимо, що при збереженні структури шару незмінною питомий опір зони перезволоження в два рази менше, ніж зони сушіння, і в чотири рази менше опору зони інтенсивного нагріву.

Питомий газодинамічний опір зон агломерованого шару ($k_1 = 18,65 \cdot 10^5$; $k_2 = 28,6$; $\rho_0 = 1,4 \text{ кг/м}^3$; $H = 0,01 \text{ м}$)

Зона	W_0 , м/сек	T , °К	v_T , м ² /сек	Δp , кН/м ²
Перезволоження	0,75	330	1,6	0,57
Сушки	0,65	570	5,0	1,18
Інтенсивного нагріву	0,50	1100	20,0	2,31

В ході спікання структура матеріалу, звичайно, буде якимось змінюватися, тобто коефіцієнти газодинамічного опору k_1 і k_2 для розглянутих зон будуть дещо відрізнятися.

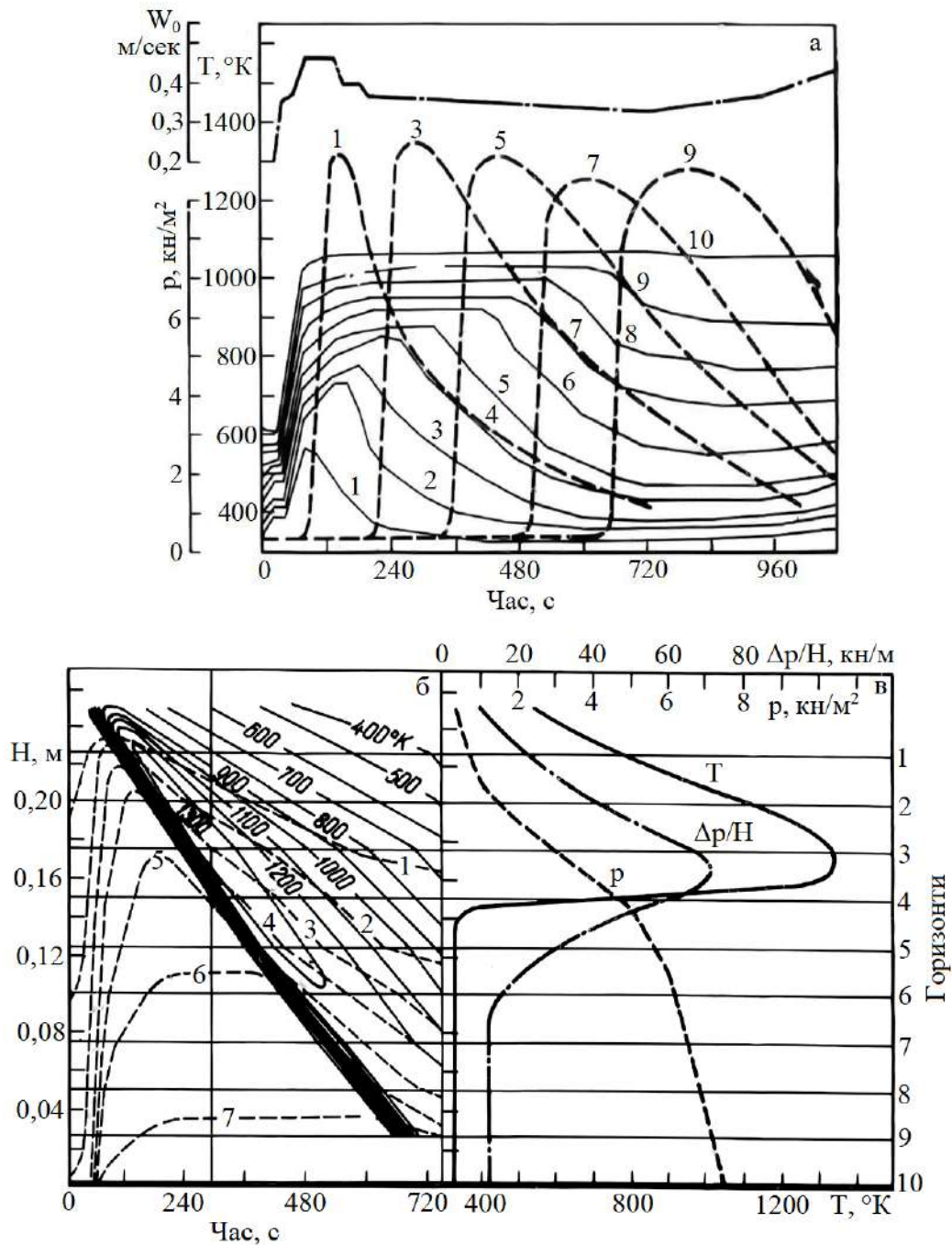


Рис. 2.4. Газодинамічні та температурні характеристики процесу «спікання» магнезиту: а – зміна температури (пунктирні лінії) і вакууму (суцільні лінії) на окремих горизонтах, а також швидкості всмоктування повітря (штрих-пунктирна лінія) по ходу дослідів (цифри біля кривих – номер горизонту); б – температурне поле (суцільні лінії) і поле тисків (пунктирні лінії); в – зміна температури, статичного тиску і градієнта тисків по висоті шару на п'ятій хвилині від початку досвіду

Щоб питомий опір зони перезволоження був більшим за опір зони сушіння, необхідно значно поліпшити газопроникність шихти при переході її в зону сушіння. Єдиним засобом для цієї мети є видалення вологи, в результаті чого підвищується пористість. Однак навряд чи можна очікувати, що тільки за рахунок випаровування води коефіцієнти k_1 і k_2 для зони сушіння зменшаться більш ніж удвічі порівняно із зоною перезволоження.

За експериментальними даними [37], значення k_1 і k_2 для ретельно окомкованої шихти в зоні сушіння дійсно виявилися нижчими, ніж у зоні перезволоження, але всього лише на 6-9 %. Більш того, грудочки шихти в зоні сушіння можуть руйнуватися з відповідним погіршенням газопроникності [38]. Таким чином, питомий газодинамічний опір зони перезволоження не може бути більшим за опір зони сушіння.

Не можна також очікувати і дворазового зменшення коефіцієнтів газодинамічного опору при переході матеріалу в зону інтенсивного нагрівання за рахунок вигорання палива і дисоціації карбонатів. Отже, питомий опір зони інтенсивного нагрівання у всіх випадках буде більшим за опір зони випаровування. Розрахунки, виконані для інших матеріалів, дають іншу абсолютну величину питомого газодинамічного опору зазначених зон, але відносні значення цього параметра залишаються приблизно такими ж. На нашу думку, з наявних п'яти зон в агломерованому шарі максимальною величиною питомого газодинамічного опору можуть володіти тільки зони інтенсивного нагрівання і плавлення.

На підставі викладеного результати дослідів [27-29], в яких максимальний питомий опір припадає на зони перезволоження і сушіння, слід вважати неправильними внаслідок, ймовірно, не зовсім точного поєднання в часі кривих температури і тиску і можливих помилок при записі вручну швидко мінливого в ході експерименту вакууму на окремих горизонтах.

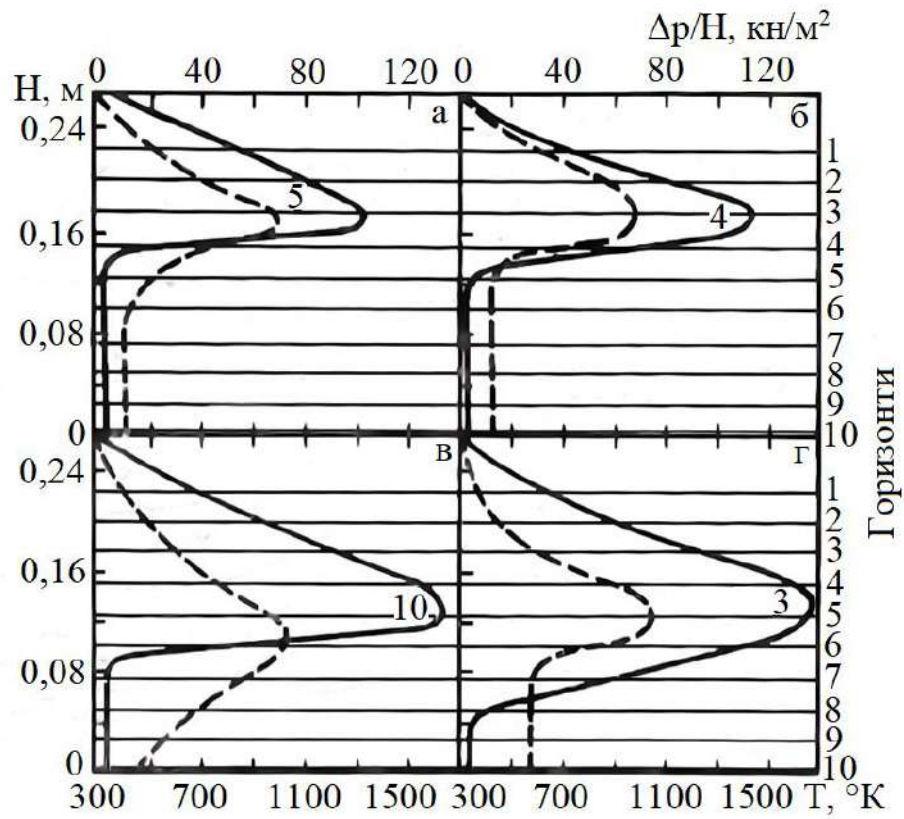


Рис. 2.5. Зміна температури (суцільні лінії) і градієнта тисків (пунктирні лінії) по висоті шару: а – магнезит; б і в – порівняльні агломераційні шихти; г – бурий залізняк. Цифри біля кривих – час від початку досліду в хв.

Для усунення цих недоліків і отримання більш надійних даних було зменшено відстань між імпульсними трубками тиску до 25 мм і одночасно фіксувалися показання всіх манометрів на фотоплівку через кожні 20-30 сек. Результати великої кількості дослідів з різними типами залізородних матеріалів підтвердили, що максимальним питомим опором володіють тільки зони інтенсивного нагрівання і плавлення.

Якщо структура шихти не зазнає значних змін у зоні формування агломерату, то найбільшим питомим опором буде володіти зона максимальних температур, тобто зона формування агломерату. До цього випадку можна віднести шихту з високою початковою газопроникністю – крупнозернисту (рис. 2.5, б.) і таку, яка добре комкується (рис. 2.5, г). Якщо ж у зоні формування агломерату відбувається дуже сильна відносна зміна структури (наприклад, при спіканні тонкоподрібнених матеріалів, що погано комкуються), то максимальний питомий опір припадатиме на зону інтенсивного нагрівання (рис. 2.5, в).

З викладеного вище не впливає, однак, що газопроникність зон сушіння і перезволоження не має істотного впливу на газопроникність зон інтенсивного нагрівання, плавлення і всього шару в цілому. Матеріал в зоні інтенсивного нагрівання значною мірою зберігає структуру зони випаровування; остання залежить від структури зони перезволоження, тобто для цих трьох зон структура попередньої визначає структуру наступної зони. Отже, добре окомкована шихта з грудочками, що зберігають свою міцність при перезволоженні, сушінні та високотемпературному нагріванні, є основною умовою високої газопроникності шару, що спікається.

Очевидно, що газодинамічний опір кожної зони прямо пропорційний її висоті. Вважаючи в першому наближенні, що висота і питомий опір зон сушіння, інтенсивного нагрівання і плавлення залишаються по ходу спікання постійними, тобто відбувається просте переміщення їх по висоті,

сумарний газодинамічний опір шару буде залежати від відносної зміни висоти зон перезволоження і агломерату.

У перший період спікання, коли шар представлений в основному зоною перезволоження, загальний опір шару буде визначатися опором цієї зони. У ході процесу буде зростати відносний вплив зон інтенсивного нагрівання і плавлення, і в кінці спікання визначальною зоною стає агломерат, що охолоджується.

Висновки по основній частині

1. Аналіз наведених досліджень підтверджує, що режим руху газу при агломерації залізородних матеріалів є надзвичайно складним і динамічним процесом. Він не може бути описаний однією простою моделлю через постійні структурні та температурні зміни в шарі, що спікається. Це вимагає використання комплексних підходів із застосуванням безрозмірних критеріїв, таких як Z , n та Re , які дозволяють кількісно оцінювати характер взаємодії газового потоку з пористим середовищем.

2. Дослідження чітко показують, що характер взаємодії газового потоку зі спекаємими матеріалами в окремих зонах агломераційного шару варіюється в широких межах – від майже ламінарного до турбулентного. Це підтверджується зміною значень критеріїв Z (від 0,31 до 5,80) та n (від 1,19 до 1,88) по висоті шару. Однак, для агломераційної установки в цілому, режим руху газу схиляється до турбулентного, особливо з урахуванням додаткових підсмоктувань холодного повітря, які значно збільшують турбулізацію потоку.

3. Одним із найважливіших висновків є те, що зміна показника режиму руху газу (критерію Z) в процесі агломерації в основному лімітується не властивостями газового потоку, а структурними перетвореннями матеріалів у шарі. Зростання визначального параметра шару (k_2/k_1) по мірі перетворення вологої шихти в агломерат безпосередньо корелює з турбулізацією газового потоку. Це підкреслює критичну важливість мікроструктурних змін матеріалу для газодинамічного опору.

4. Критичний аналіз існуючих підходів до оцінки газодинамічного опору окремих зон агломераційного шару, а також власні експериментальні дані, дозволяють зробити обґрунтований висновок, що максимальний питомий газодинамічний опір припадає на зони інтенсивного нагрівання та плавлення. Це протирічить деяким попереднім дослідженням, які

приписували найбільший опір зонам перезволоження та сушіння. Автори доводять, що низька газопроникність шихти в цих зонах, а також руйнування грудочок при нагріванні, можуть значно підвищувати опір.

5. Робота підкреслює, що добре окомкована шихта, грудочки якої зберігають свою міцність при перезволоженні, сушінні та високотемпературному нагріванні, є основною умовою забезпечення високої газопроникності всього шару, що спікається. Це означає, що початкова якість підготовки шихти має вирішальне значення для оптимізації газодинамічних умов процесу агломерації та, відповідно, для ефективності виробництва в цілому.

6. Наголошується на важливості точності вимірювань та адекватності методик для отримання достовірних даних. Зменшення відстані між імпульсними трубками для вимірювання тиску та одночасна фіксація показань манометрів на фотоплівку є прикладом вдосконалення експериментальної методології, що дозволяє уникнути помилок, притаманних попереднім дослідженням, і отримати більш надійні результати щодо розподілу газодинамічного опору по зонах.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є наріжним каменем будь-якого відповідального виробництва, а її ефективність прямо залежить від неухильного дотримання техніки безпеки. У металургійній галузі, де ризики для життя та здоров'я працівників є надзвичайно високими, важливість цих принципів набуває критичного значення. Металургійні підприємства характеризуються наявністю множинних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- високі температури: робота з розплавленими металами, нагрівальними печами, ливарними машинами створює ризик опіків, теплових ударів, вибухів;

- рухомі механізми: конвеєри, крани, прокатні стани, преси несуть загрозу защемлення, удару, розчавлення;

- шкідливі речовини: пил, гази (оксиди вуглецю, сірки, азоту), важкі метали, що виділяються в процесі виробництва, можуть спричиняти професійні захворювання дихальних шляхів, отруєння, онкологічні захворювання;

- підвищений рівень шуму та вібрації: тривалий вплив цих факторів призводить до втрати слуху, порушень нервової та серцево-судинної систем;

- робота на висоті та в обмежених просторах: пов'язана з ризиками падінь та асфіксії.

- вибухо- та пожежонебезпека: наявність горючих газів, легкозаймистих матеріалів та високих температур створює підвищений ризик аварій;

- недотримання елементарних правил техніки безпеки в таких умовах може мати катастрофічні наслідки: від важких травм (опіків, переломів, каліцтв) до смертельних випадків.

В Україні система охорони праці є досить розгалуженою та базується на комплексі нормативно-правових актів, які обов'язкові для виконання всіма суб'єктами господарювання, особливо в таких небезпечних галузях, як металургія. Основними законодавчими актами, що регулюють охорону праці, є

– Закон України "Про охорону праці". Це базовий закон, який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на безпечні і здорові умови праці, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Він встановлює загальні принципи організації охорони праці, права та обов'язки суб'єктів трудових відносин, а також відповідальність за порушення законодавства про охорону праці.

– Кодекс законів про працю України (КЗпП): Містить розділ "Охорона праці", який дублює та уточнює деякі положення Закону "Про охорону праці", зокрема щодо робочого часу та часу відпочинку, праці жінок та молоді, а також пільг та компенсацій за роботу у шкідливих умовах.

Крім цих базових законів, для металургійної галузі є низка спеціалізованих нормативно-правових актів, розроблених з урахуванням специфіки виробництва та високих ризиків. Ці правила є ключовим документом, що деталізує вимоги безпеки для всіх основних виробничих процесів у металургії, таких як доменне, сталеплавильне, прокатне виробництво, феросплавне виробництво, коксування тощо. Вони містять конкретні вимоги до обладнання, технологічних процесів, вентиляції, освітлення, організації робочих місць, засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), електробезпеки, пожежної безпеки, а також до проведення робіт підвищеної небезпеки.

3.1. Розрахункова частина

У цеху площею $100 \times 40 \text{ м}^2$ з середнім виділенням пилю, 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 вироблений 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, 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 приведенного прикладу при середніх виділеннях кіптяви, пилю 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 Вт, напрузі 127 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 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. Для розрахунку втрат напору газу в шарі сипучих матеріалів використовується модифікована формула Дарсі-Вейсбаха, де ключовими параметрами є коефіцієнт опору, висота шару, еквівалентний діаметр пустот та швидкість газу в пустотах.

2. Середній вільний переріз шару агломерату чисельно близький до його порозності. Зі збільшенням середнього розміру шматків агломерату їхній коефіцієнт форми зростає. Для розрахунку втрат напору в турбулентному режимі доцільніше використовувати середній розмір елементарного каналу в перерізі замість еквівалентного діаметра пустот.

3. Газопроникність доменної шихти, зокрема агломерату, визначається її порозністю та гранулометричним складом.

4. Закономірності залежності порозності від гранулометричного складу, виведені К. Фурнасом для куль, певною мірою справедливі й для кускових матеріалів, але існують відхилення, особливо для агломерату.

5. На відміну від двокомпонентної суміші куль, де мінімум порозності спостерігається при певному співвідношенні фракцій, для агломерату мінімум порозності відповідає 100 % вмісту дрібної фракції. Втрати тиску в шарі двокомпонентної суміші агломерату є максимальними при 100 % вмісту дрібної фракції, тоді як для куль максимум втрат спостерігається при 25-40 % дрібноти.

6. Для підвищення газопроникності агломераційного насипу пропонується кілька способів: відсів дрібних фракцій, роздільне завантаження вузьких фракцій та введення проміжної фракції (наприклад, коксового «горішка»).

7. Додавання коксового «горішка» в агломерат є ефективним способом підвищення газопроникності, що дозволяє збільшити інтенсивність доменної плавки та знизити витрату металургійного коксу.

Дослідження трикомпонентних сумішей агломерату підтверджують, що додавання коксового «горішка» покращує газопроникність шару.

8. Практичне застосування коксового «горішка» на «Каметсталі» показало позитивний вплив на техніко-економічні показники доменної плавки, зокрема збільшення продуктивності та зниження витрати металургійного коксу.

9. Аналіз наведених досліджень підтверджує, що режим руху газу при агломерації залізородних матеріалів є надзвичайно складним і динамічним процесом. Він не може бути описаний однією простою моделлю через постійні структурні та температурні зміни в шарі, що спікається. Це вимагає використання комплексних підходів із застосуванням безрозмірних критеріїв, таких як Z , n та Re , які дозволяють кількісно оцінювати характер взаємодії газового потоку з пористим середовищем.

10. Дослідження чітко показують, що характер взаємодії газового потоку зі спекаємими матеріалами в окремих зонах агломераційного шару варіюється в широких межах – від майже ламінарного до турбулентного. Це підтверджується зміною значень критеріїв Z (від 0,31 до 5,80) та n (від 1,19 до 1,88) по висоті шару. Однак, для агломераційної установки в цілому, режим руху газу схиляється до турбулентного, особливо з урахуванням додаткових підсмоктувань холодного повітря, які значно збільшують турбулізацію потоку.

11. Одним із найважливіших висновків є те, що зміна показника режиму руху газу (критерію Z) в процесі агломерації в основному лімітується не властивостями газового потоку, а структурними перетвореннями матеріалів у шарі. Зростання визначального параметра шару (k_2/k_1) по мірі перетворення вологої шихти в агломерат безпосередньо корелює з турбулізацією газового потоку. Це підкреслює критичну важливість мікроструктурних змін матеріалу для газодинамічного опору.

12. Критичний аналіз існуючих підходів до оцінки газодинамічного опору окремих зон агломераційного шару, а також експериментальні дані, дозволяють зробити обґрунтований висновок, що максимальний питомий газодинамічний опір припадає на зони інтенсивного нагрівання та плавлення. Це протирічить деяким попереднім дослідженням, які приписували найбільший опір зонам перезволоження та сушіння. Автори доводять, що низька газопроникність шихти в цих зонах, а також руйнування грудочок при нагріванні, можуть значно підвищувати опір.

13. Робота підкреслює, що добре окомкована шихта, грудочки якої зберігають свою міцність при перезволоженні, сушінні та високотемпературному нагріванні, є основною умовою забезпечення високої газопроникності всього шару, що спікається. Це означає, що початкова якість підготовки шихти має вирішальне значення для оптимізації газодинамічних умов процесу агломерації та, відповідно, для ефективності виробництва в цілому.

14. Наголошується на важливості точності вимірювань та адекватності методик для отримання достовірних даних. Зменшення відстані між імпульсними трубками для вимірювання тиску та одночасна фіксація показань манометрів на фотоплівку є прикладом вдосконалення експериментальної методології, що дозволяє уникнути помилок, притаманних попереднім дослідженням, і отримати більш надійні результати щодо розподілу газодинамічного опору по зонах.

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

16. 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. Лялюк В.П. Опыт использования высококачественного окучкованного железорудного сырья в доменной плавке / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.К. Тараканов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №6. – С. 6-9.

2. Бочка В.В., Куприков Р.А., Сулименко С.Е., Вылупко Е.Е. Влияние предварительной механической обработки агломерата на газопроницаемость столба шихты в доменной печи // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2012. - № 3. - С. 8-11.

3. Гаврилко, С. А. Исследование размягчаемости восстановленного агломерата различных фракций / С. А. Гаврилко, А. А. Киселев, Г. А. Громак и др. // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2009. – Вип. (3) 29. – С. 1-6.

4. Сова А. В. Дослідження причин утворення внутрішнього напруження в агломераті, та пошук оптимальної енергії руйнування спеченця / А. В. Сова, В. В. Бочка, А. В. Двоєглазова та ін. // *43-тя Міжнародна науково-технічна конференція молоді*. – 2016. – С. 17.

5. Бочка В.В. Особенности формирования напряженного состояния и разрушения агломерата / В.В.Бочка, А.В. Сова, А.В.Двоєглазова и др. // *Металл и Литьё Украины*. – 2017. - № 6-7. – С. 1-4.

6. Ковалев Д. А., Теоретические основы производства окучкованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений / Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко, Б.П. Крикунов, М.В. Ягольник, М.Н. Бойко – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.

7. Вылупко Е.Е. Получение окучкованного железорудного материала блочно-ячеестого строения / Е.Е. Вылупко, Н.В. Игнатов, О.В. Губа, В.А. Усенко, А.П. Белова // *“Сучасні проблеми металургії”*, № 14, – 2011 г, ст. 50-57.

8. Бочка В.В. Дослідження особливостей взаємодії кусків агломераційного спеченця в барабані-стабілізаторі / В.В.Бочка, А.В. Сова, А.В.Двоєглазова та ін. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. - №5. – С. 8-11.

9. Бочка В.В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату/ В.В. Бочка, А.В. Сова, А.В.Двоєглазова, М.О. Ващенко // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Металлургия 2019», м. Запоріжжя, 21-23 травня, с. 256-257.

10. Бочка В.В. Особливості спікання агломерату при використанні шихти з попередньо підготовленими композитами / В.В. Бочка, А.В. Сова, А.В.Двоєглазова та ін. // *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті*. – 2019. - №22. – С. 3-12.

11. Бочка В.В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату / В.В. Бочка, А.К. Тараканов, А.В. Сова, М.М. Бойко, М.В. Ягольник, А.В. Двоєглазова // *Теорія і практика металургії*. – 2019. - №1. – С. 5-14.

12. Бочка В.В. Поведінка агломерату при механічних навантаженнях / В.В. Бочка, А.В. Двоєглазова, А.В. Сова та ін. // *Матеріали конференції «Актуальні проблеми розвитку металургійної науки та освіти», присвячена 100-річчю Г.Г. Єфіменко*. – 2017. – С. 233-237.

13. Сова А.В. Пошук оптимальної схеми реалізації внутрішніх напружень в агломераті / А.В. Сова, В.В. Бочка, А.В.Двоєглазова та ін. // VI Міжнародна науково-практична конференція «Металлургия 2017». – 2017. – С. 408.

14. Сова А.В. Розробка математичної моделі руйнування агломераційного спеченця в агрегаті стабілізаторі барабанного типу / А.В. Сова, В.В. Бочка, А.В.Двоєглазова та ін. // 44-та Міжнародна науково-технічна конференція молоді. – 2017. – С. 14.

15. Пузанов В. П. – Известия вузов. Черная металлургия, 1969. – № 6. – С. 48.
16. Коротич В. И., Пузанов В. П. – Сталь, 1967. – № 7. – С. 583.
17. Притыкин Д. П., Дримбо А. В. Реконструкция агломерационной фабрики завода «Запорожсталь». – Металлургиздат, 1963.
18. Певцов В. П., Кравец Ю. С. – Бюллетень ЦИИН ЧМ, 1966. – № 11 (535). – С. 28.
19. Кронмюллер Г., Каппель Ф. – Черные металлы, 1965. – № 6. – С. 3.
20. Николаев А. П. Советская металлургия, 1935. – № 10-11. – С. 7.
21. Ростовцев С. Т. Теория и практика металлургии, 1938. – № 4. – С. 13.
22. Mitchell D. M. J. Iron and Steel Institute. – 1961. – V. 198. – Pt. 4. – P. 358.
23. Voice E. W., Brooks S. H., Gledhill P. K. J. – Iron and Steel Institute, 1953. – V. 174. – Pt. 2. – P. 136.
24. Michard J., Voucrant M., Heidemann M. – Revue de Metallurge, 1961. – V. 58. – Numero special, p. 6.
25. Бабушкин Н. М., Тимофеев В. Н., Миллер В. Я. Теплотехника доменного и агломерационного процессов. – Сб. научных трудов, № 14. – Изд-во «Металлургия», 1966. – С. 190.
26. Коротич В. И., Пузанов В. П., Флоров Ю. А. Известия вузов, Черная металлургия, 1968. – № 10. – С. 26.
27. Миллер В. Я., Хохлов Д. Г. Сталь. – 1989. – № 1. – С. 7.
28. Миллер В. Я. Труды НТО Черной металлургии, т. 8. – Металлургиздат. – 1989. – С. 152-157.
29. Ксендзык Г. В. / Известия вузов Черная металлургия. – 2001. – № 7. – С. 3.

30. Voice E. W., Wild R. J. Iron and Steel Institute. – 1996. – V. 183. – P. 4-14.
31. Mitchell D. W. J. Iron and Steel Institute, 2017. – V. 198. – P. 4, 358.
32. Wild R., Dixon K. G. Agglomeration, Interscience Publishers, Division of Sohn Wiley and Sons, New York – London, 2002, p. 365.
33. Michard J., Boucrant M., Heidemann M. Revue de Metallurgie, 1991. – V. 58. – Numero special, P. 6.
34. Boucrant M., Michard J. – Blast Furnace, Coke oven and Raw Materials Comm. Iron and Steel Div. Metallurg Society American Institute of the Mining Metallurgical and Petroleum Engeniers Proc., New York, 1993. – V. 21. – P. 345.
35. Коротич В. И., Пузанов В. П. Изв. вузов, Черная металлургия. – 1994. – № 10. – С. 28.
36. Коротич В. И. и др. Изв. вузов, Черная металлургия, 2005. – № 6. – С. 22.
37. Коротич В. И., Пузанов В. П. Изв. вузов, Черная металлургия, 2007. – № 6. – С. 58.
38. Виноградов В. В. Труды НТО, Черная металлургия, т. 8. – Металлургиздат, 1996. – С. 225.

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Шевченко Олег Євгенович

Автор

Науковий керівник / Експерт

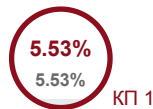
Шевченко Олег ЄвгеновичЧупринов Є.В.

підрозділ

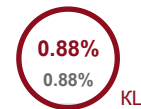
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

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.



КП 1



КЦ

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

7688

Кількість слів

56211

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		32
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		31

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	Щербак Ігор Сергійович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	119 1.55 %
2	Щербак Ігор Сергійович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	48 0.62 %

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента Шевченка Олега Євгеновича
(прізвище, ім'я та по-батькові)
групи МТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Дослідження газопроникності агломераційного шару та
аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>67</u>
таблиць	<u>4;</u>
схем і рисунків	<u>12;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>5.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Було проаналізовано теоретичні засади опису газового потоку в пористому шарі, включаючи безрозмірні критерії (Z , n , Re) та рівняння для розрахунку втрат напору, з посиланням на існуючі наукові підходи та суперечності серед дослідників. Основний акцент було зроблено на дослідженні характеру взаємодії газового потоку зі спекаємими матеріалами, зокрема, шляхом використання показників газодинамічної роботи аглофабрики ПівдГЗК та лабораторних експериментів.

В дипломній роботі детально висвітлено зміну газодинамічних параметрів (k_1 , k_2 , Z , n , α) по висоті агломераційного шару та їх взаємозв'язок з температурними полями та структурними перетвореннями матеріалу. Особливу увагу було приділено аналізу газодинамічного опору окремих зон агломерованого шару (зони агломерату, плавлення, інтенсивного нагрівання, сушіння, часткового перезволоження), критично оцінюючи існуючі методики вимірювань та інтерпретації результатів інших дослідників. Було проведено оцінку застосовності різних емпіричних рівнянь для опису газового потоку, і виявлено діапазон відносних похибок.

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 Шевченко О.Є. проявив себе, як спеціаліст у галузі металургії. Всі поставлені завдання були виконані вчасно та у повній мірі. Дипломна робота виконана самостійно студентом 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)
Студента _____ Шевченка Олега Євгеновича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи	
Тема кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження газопроникності агломераційного шару та аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару</u>	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження газодинамічного опору окремих зон шару агломерованої шихти</u>	
Переваги кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дипломна робота спрямована на дослідження газопроникності агломераційного шару та пошук рішень, що покращують рух газів всередині шару</u>	
Недоліки кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Суттєвих недоліків не виявлено	
Рекомендації: 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 надійності адаптаційного шару за аналіз,
факторів що впливають на рух ців в середній шару»
(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Шевченко Олег Євгенович

(ПІБ)

Каф. металургійних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 67 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом
«StrikePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 94,47%.

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)

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

Керівник підрозділу

(підпис)



Касієва Ф.О.
Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.2025

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Шевченко Олег Євгенович, підтримую політику
Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Дослідження
гадопримикності агломераційного шару та аналіз факторів
яко впливають на рух газів всередині шару» виконана самостійно та
не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену
допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання 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 «Положення про Репозитарій
(електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена
робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії
ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

07.06.2025



Шевченко О. Є.
(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

Шевченка Олега Євгеновича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної
роботи магістра



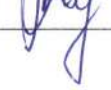
Дослідження газопроникності агломераційного шару та аналіз факторів, що впливають на рух газів всередині шару

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 2025 р.