

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**

КАРПЕНКО ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ

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

на тему Дослідження способу подачі, крупності та типу твердого палива на хід агломераційного процесу  
*(повна назва теми)*

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

науковий керівник

Д.Т.Н., професор  
*(наук. ступінь, вчене звання)*

  
*(підпис)*

Кассім Д.О.  
*(прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри  
від 12.06. 2025р. № 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 перший (бакалаврський)  
Спеціальність 136 – Металургія  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри

  
(підпис)

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

«04» квітня 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

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

КАРПЕНКО ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра:

Дослідження способу подачі, крупності та типу  
твердого палива на хід агломераційного процесу

керівник кваліфікаційної роботи Кассім Дар'я Олександрівна, д.т.н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» квітня 2025 р. № 241-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):

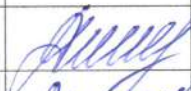



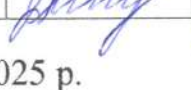

4.1. Аналітична частина: вплив способу подачі палива, його виду та  
крупності на показники процесу спікання агломераційної шихти;  
оптимізація процесу огрудкування шихти для підвищення продуктивності  
аглоустановки

4.2. Основна частина: дослідження механізму впливу характеристик  
коксового дріб'язку на агломераційний процес; поліпшення показників  
роботи агломераційної машини за рахунок подачі палива наприкінці  
огрудкування 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 відображати 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	Кассім Д.О., професор		
2 Основна частина	Кассім Д.О., професор		
3 Охорона праці	Кассім Д.О., професор		

7. Дата видачі завдання «04» квітня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

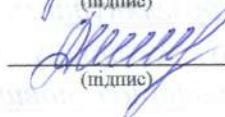
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	11.04.2025	
2.	Основна частина	18.04.2025	
3.	Охорона праці	25.04.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.2025	
5.	Виконання графічної частини	16.05.2025	
6.	Подання роботи до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

Студент

  
(підпис)

Карпенко О.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

Кассім Д.О.  
(прізвище та ініціали)

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

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. лис-тнів	№ екз	Примітка
			<u>Документація загальна</u>			
1	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.ПЗ	Пояснювальна записка	52		
			Слайди			
2	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.01	Вплив крупності палива і вологості шихти W на газопроникність аглошару в холодному стані	1		
3	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.02	Зміна газопроникності аглошару під час спікання	1		
4	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.03	Показники процесу спікання під час роботи на коксовому дріб'язку різної крупності та постійному початковому розрідженні під колосниковою решіткою	1		
5	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.04	Результати спікань шихти за різних способів подачі палива	1		
6	A4	ІІІТІ ДУЕТ.136.ВРБ.05	Зміна складу відсмоктуваного газу по ходу спікання	1		
7	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.06	Зміна гранулометричного складу огрудкованої шихти за різного способу подачі палива	1		
8	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.07	Зміна витрати повітря за ходом спікання	1		

					ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ						
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Відомість випускної роботи бакалавра						
Розробив		Карпенко О.А.		07.06.25					Літ.	Лист	Листів
Керівник		Кассім Д.О.		07.06.25					Д	Т	1
Н.контр.		Кассім Д.О.		07.06.25					ННТІ ДУЕТ		
Затв.		Кассім Д.О.		07.06.25	каф. Металургійних технологій гр. ЗМЧМ-22ск						

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 52 сторінки, 11 рисунків, 4 табл., 17 джерел.

**Об'єкт дослідження** – характеристики твердого палива для агломераційного процесу.

**Мета роботи** – дослідження різних параметрів агломераційного процесу з метою вибору оптимальних умов застосування твердого палива.

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

Досліджено, як крупність палива (0-0,4 мм; 0,4-1,0 мм; 1,0-2,5 мм; 2,5-3 мм) впливає на оптимальну вологість аглошихти, газопроникність шару та динаміку спікання в лабораторних умовах. Встановлено, що зі зменшенням крупності палива зростає оптимальна вологість шихти та знижується її початкова газопроникність. Виявлено, що крупність палива суттєво впливає на динаміку зміни газопроникності шару під час спікання, а також на розміри зони горіння та сушіння. Оптимальні температури в шарі та найкращі показники виходу придатного агломерату і питомої продуктивності спостерігаються при використанні фракцій коксу 0,4-1 мм та 1-2,5 мм.

Показано, що подача 100% палива наприкінці огрудкування верхнього шару знижує витрату палива, але також і продуктивність. Найкращі результати (збільшення продуктивності, покращення міцності агломерату, зниження витрати палива) досягаються при подачі палива наприкінці огрудкування кожного шару, а особливо нижнього шару. Підкреслюється, що "накат" палива покращує умови його згорання, змінює умови огрудкування шихти (зменшуючи частку дрібних фракцій) та збільшує питому вагу палива в мікрооб'ємах шихти, що сприяє зниженню в'язкості рідких фаз та поліпшенню газопроникності високотемпературної зони. Відзначається, що для антрацитового штибу ефект від нової технології менший через його повільніше згорання та особливості зольності. Дослідження підтверджує

значний потенціал впровадження цієї технології для підвищення ефективності агловиробництва.

АГЛОМЕРАЦІЯ, КОКСОВИЙ ДРІБ'ЯЗОК, ЗОНА СПІКАННЯ, РЕАКЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ, ТВЕРДЕ ПАЛИВО, ОПТИМІЗАЦІЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1. Вплив способу подачі палива, його виду та крупності на показники процесу спікання агломераційної шихти.	10
1.2. Оптимізація процесу огрудкування шихти для підвищення продуктивності аглоустановки	16
Висновки по аналітичній частині	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	25
2.1 Дослідження механізму впливу характеристик коксового дріб'язку на агломераційний процес	25
2.2. Поліпшення показників роботи агломераційної машини за рахунок подачі палива наприкінці огрудкування шихти	32
Висновки по основній частині	41
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
3.1. Законодавство в області охорони праці	43
3.2. Розрахункова частина	44
Висновки по охороні праці	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	47
Перелік бібліографічних джерел	50

## ВСТУП

Агломераційний процес є ключовим етапом у підготовці залізорудної сировини для доменного виробництва, від ефективності якого значною мірою залежать техніко-економічні показники металургійних підприємств. Центральну роль у цьому процесі відіграє паливо, насамперед коксовий дріб'язок та антрацитовий штиб, що забезпечує необхідні теплові умови для спікання шихти та формування якісного агломерату.

Проте, характеристики палива, такі як його гранулометричний склад, реакційна здатність та метод подачі до шихти, мають складний та багатогранний вплив на динаміку процесу спікання, газопроникність шару, формування рідких фаз та кінцеві властивості продукту. Ігнорування або недостатнє врахування цих факторів може призвести до зниження продуктивності агломашин, збільшення питомих витрат палива та погіршення якості агломерату, що, у свою чергу, негативно позначається на роботі доменних печей та загальній економіці виробництва.

У зв'язку з цим, оптимізація характеристик палива та методів його використання стає не просто бажаною, а критично важливою задачею для сучасних агломераційних фабрик. Це дає змогу досягти цілої низки переваг: від підвищення питомої продуктивності установки та зниження витрат на виробництво, до покращення фізико-механічних властивостей агломерату (міцності, відновлюваності) та зменшення негативного впливу на довкілля завдяки більш повному та ефективному згорянню палива.

Інтенсивність спікання шихти визначається швидкістю горіння палива. При цьому хімічне перетворення, пов'язане з виділенням тепла, обумовлюється такими фізичними процесами (дифузією, теплообміном, адсорбцією тощо), кінетика яких багато в чому визначається характером взаємодії палива з шихтою під час огрудкування. Останнє проявляється в закономірностях його розподілу по фракціям огрудкованої шихти.

Відомо, що при огрудкуванні шихти на грануляторі жодних принципових відмінностей у порівнянні з огрудкуванням в барабані не спостерігається. Отже, закономірності, що відображають вплив огрудкування палива на показники процесу спікання, справедливі для спікальних машин, для огрудкування використовуються барабанні огрудкувачі.

Таким чином, подальше дослідження та впровадження передових підходів до управління характеристиками палива відкривають нові резерви для інтенсифікації агломераційного процесу та підвищення його загальної ефективності.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Вплив способу подачі палива, його виду та крупності на показники процесу спікання агломераційної шихти.

Інтенсивність спікання шихти визначається швидкістю горіння палива. При цьому хімічне перетворення, пов'язане з виділенням тепла, обумовлюється такими фізичними процесами (дифузією, теплообміном, адсорбцією тощо), кінетика яких багато в чому визначається характером взаємодії палива з шихтою під час огрудкування. Останнє проявляється в закономірностях його розподілу по фракціям огрудкованої шихти [1-3].

Завдання дослідження, що було проаналізовано в даній частині дипломної роботи – вивчити вплив ступеня огрудкування палива на показники процесу спікання при подачі його двома способами: 1) до рудофлюсуючих компонентів шихти до огрудкування та 2) на огрудковувану шихту через 45 сек після остаточного її зволоження на тарілчастому грануляторі ( $d_T = 1$  м,  $n = 25$  об/хв). Тривалість спільного огрудкування становила 3 хв.

Відомо, що при огрудкуванні шихти на грануляторі жодних принципових відмінностей у порівнянні з огрудкуванням в барабані не спостерігається [3, 4]. Отже, закономірності, що відображають вплив огрудкування палива на показники процесу спікання, справедливі для спікальних машин, для огрудкування використовуються барабанні огрудкувачі.

Шихту із суміші (1:1) двох різних криворізьких руд (55 %), флюсуючих добавок (15,3 %), марганцевої руди (2 %) і повернення (25 %) завантажували в чашу діаметром 0,26 м двома однаковими за вагою шарами з різним вмістом палива: 5,5 %. Як паливо застосовували коксик та антрацит чотирьох фракцій: -0,5; 1-0,5; 2-1 та 3-2 мм.

Хімічний склад одержаного агломерату (основність 1,2), %:

Fe <sub>заг</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Mn
52,30	9,80	11,74	2,27	3,00	0,98

В якості вихідного варіанту було прийнято спікання на коксикку фракції 3-0 мм при першому способі подачі. Всього було проаналізовано результати близько ста спікань.

Відразу ж після огрудкування шихту невеликими (близько 300 г) порціями розсівали на маленьких (400×250 мм) ситах з розміром комірок 0,5; 1; 2; 3; 5; 9 і 12 мм. Вібрація сита створювалася за рахунок постукування його об борт. Порозність шихти визначали як відношення вільного об'єму, що дорівнює об'єму залитого гасу, до всього об'єму посудини (1500 см<sup>3</sup>), в яку насипалася шихта. Вологість шихти підтримували на постійному рівні (8,5 %).

Результати дослідження показують, що подача палива на попередньо огрудковану шихту значно підвищує швидкість спікання (рис. 1), але це підвищення неоднакове для різних класів коксикку та антрациту.

У дослідах з коксикком найбільший ефект досягався при його крупності 1-0,5 мм (швидкість спікання збільшувалася на 25,2 %). Роздільна подача коксикку класів -0,5; 2-1 і 3-2 мм дає дещо менший приріст швидкості спікання – відповідно 16,0; 19,3 і 12,6 %.

У дослідах з антрацитом перегину кривої швидкості спікання не спостерігалось при обох способах подачі: швидкість спікання зростала в міру збільшення середнього діаметра зерна аж до ординати, що відповідає крупності 3-2 мм (рис. 1.1). Як і в дослідах з коксикком, чітко видно шкідливий вплив дроблення антрациту на фракції менше 0,5 мм.

Криві, що відображають зміну продуктивності установки в залежності від крупності палива при обох варіантах його присадки в шихту, мають в цілому ідентичний характер з кривими зміни швидкості спікання. Відмінність полягає в тому, що максимум продуктивності, що вказує на оптимальну величину крупності коксикку (2-1 мм при спільному огрудкуванні і 1-0,5 мм при подачі коксикку на попередньо огрудковану шихту), притаманний обом способам подачі його в шихту.

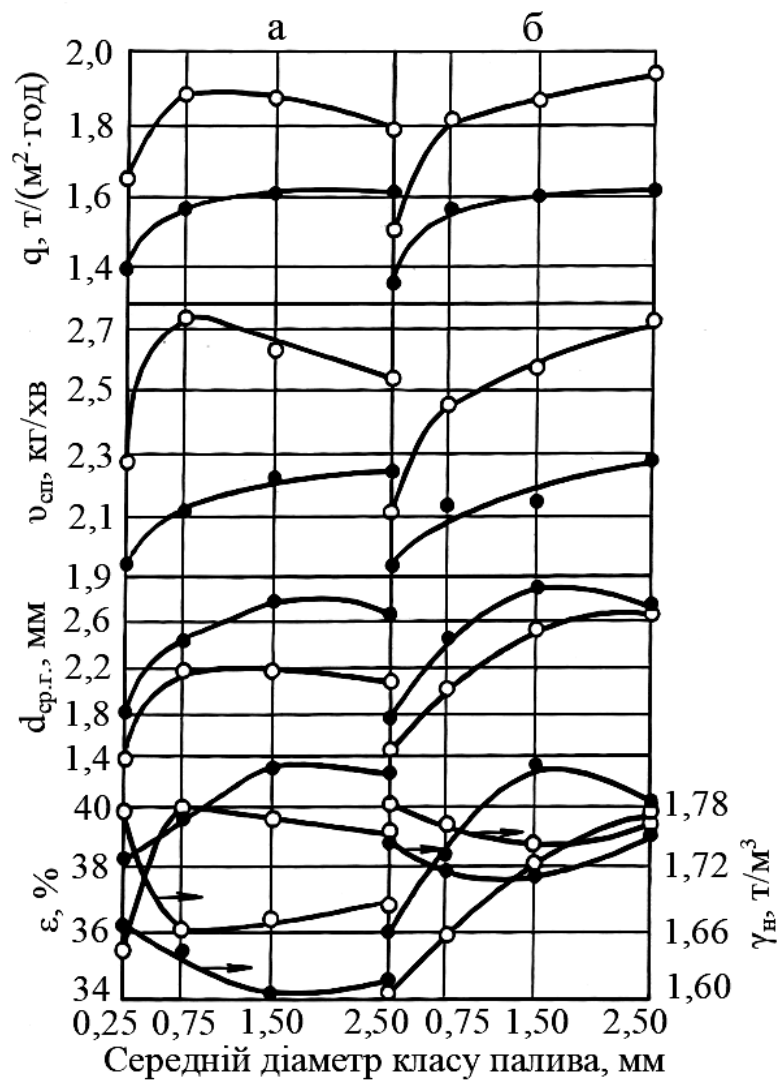


Рис. 1.1. Залежність питомої продуктивності  $q$ , швидкості спікання сухої шихти  $v_{\text{сп}}$  і газодинамічних параметрів шару ( $\gamma_{\text{н}}$  – насипна маса,  $d_{\text{ср.г.}}$  – середньогармонічний діаметр,  $\epsilon$  – порозність) від крупності палива в досліді з коксиком (а) та антрацитом (б) при першому (●) та другому (○) способах подачі палива

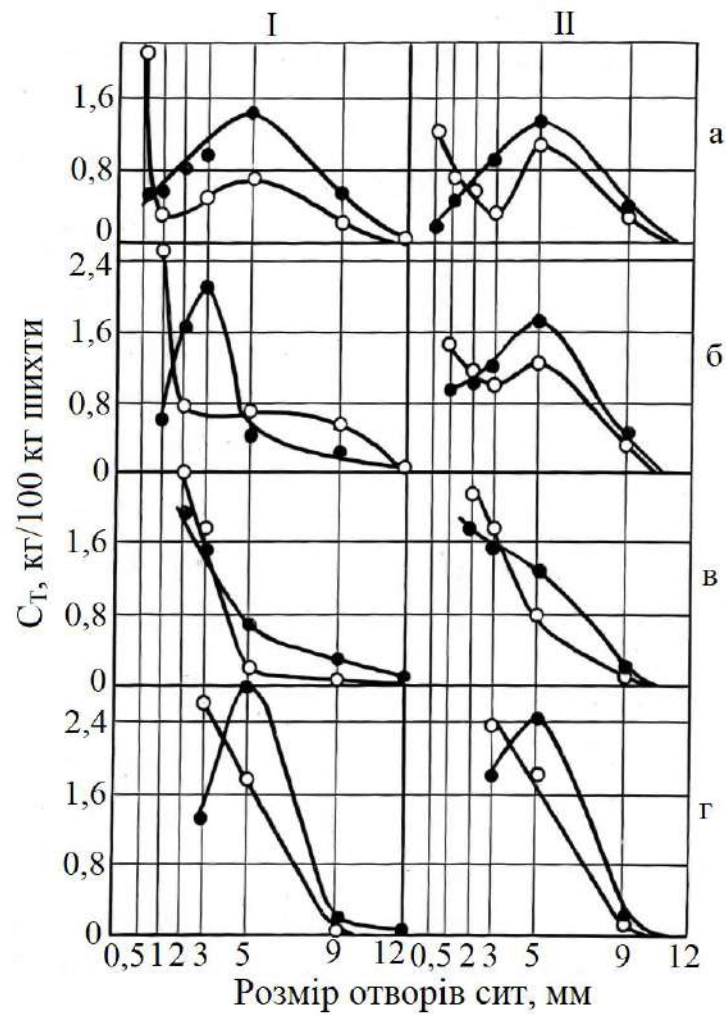


Рис. 1.2. Розподіл вуглецю палива по фракціях огрудкованої шихти (ординати позначають більший з діаметрів, що обмежує дану фракцію) при першому (●) і другому (○) способах подачі палива крупністю -0,5 (а), 1-0,5 (б), 2-1 (в) і 3-2 (г): I – дослід з коксиком; II – дослід з антрацитом

Криві на рис. 1.2 ілюструють зміну кількості вуглецю палива, що припадає на кожен фракцію шихти. При першому способі подачі обох видів палива крупністю  $-0,5$  і  $1-0,5$  мм найбільша кількість вуглецю (близько 40 %) припадає на гранули розміром  $5-3$  і  $3-2$  мм. Отже, кінетика процесу горіння в даному випадку визначатиметься не стільки реакційною здатністю палива, скільки швидкістю проходження кисню крізь рудну оболонку гранули, тобто процесом зовнішнього дифузійного обміну. Оскільки газопроникність гранули (її структура) визначається насамперед параметрами режиму огрудкування, які залишалися постійними, то різниця в швидкості горіння між коксиком і антрацитом зазначених фракцій при першому способі подачі звелася до мінімуму (див. таблицю).

При другому способі подачі палива його частинки в більшості виявляються відкритими для доступу кисню. При цьому антрацит крупністю  $-0,5$  і  $1-0,5$  мм більшою мірою встигає взяти участь в огрудкуванні, ніж частинки коксика цих розмірів. Остання обставина посилила неоднаковість реакційних властивостей порівнюваних видів палива, що й відбилося у різко вираженій різниці швидкостей спікання 6,35 та 9,64 % (див. таблицю 1.1).

Таким чином, процес огрудкування шихти зумовлює можливість прояву реакційної здатності палива. У свою чергу, сам цей процес залежить від фізичних властивостей палива, що обумовлюють ступінь його участі в огрудкуванні. Наприклад, великі частинки коксика огрудковуються краще, ніж антрацит. Внаслідок цього швидкість спікання на антрациті крупністю  $3-2$  мм вища, ніж на коксика цієї ж фракції.

Вплив характеру взаємодії палива з рудофлюсуючою частиною шихти на швидкість процесу горіння при агломерації виражається не тільки ступенем огрудкування частинок палива, але й зміною загальної газопроникності шару шихти.

Таблиця 1.1

Відносна різниця між швидкістю спікання та продуктивністю  
установки у дослідях на коксикі та антрациті

Показники	Спосіб по- дачі палива	Крупність палива, мм			
		-0,5	1-0,5	2-1	3-2*
Різниця у швидкості спікання, %	1	2,03	0	1,57	-1,84
	2	6,35	9,64	2,16	-6,90
Різниця у продуктивності установки	1	3,55	1,58	1,49	-1,41
	2	8,50	4,00	0,42	-7,34

Примітка. Знак (-) означає, що величина даного параметра в дослідях антрациті більше, ніж при спіканні на коксикі.

Саме цією обставиною пояснюється той факт, що, незважаючи на велику реакційну здатність палива крупністю  $-0,5$  мм, швидкість спікання в дослідах на цьому паливі виявляється мінімальною навіть тоді, коли ці частинки виявляються в такій же мірі вільними для доступу кисню, як і частинки палива крупністю  $1-0,5$  мм. З рис. 1.1 видно, що і пористість, і середньогармонічний діаметр гранул, що характеризують газодинамічні властивості шихти, мають мінімальні значення при крупності палива  $-0,5$  мм.

Слід зазначити, що при різних способах подачі коксик крупністю  $2-1$  мм має неоднаковий вплив на газопроникність шару шихти. При спільному огрудкуванні він виступає в ролі грудкуючих частинок, збільшуючи частку гранул розміром  $3-2$  мм, завдяки чому зростають порозність і середньогармонічний діаметр гранул. Присадка такого ж коксику на попередньо огрудковану шихту погіршує газодинамічні параметри шару шихти. У дослідах з антрацитом таке явище спостерігається при його крупності  $3-2$  мм.

Отже, при першому способі подачі оптимальний розмір частинок палива визначатиметься їх фізичними властивостями з точки зору здатності до огрудкування. У випадку подачі палива на попередньо огрудковану шихту оптимальна його крупність визначатиметься гранулометричним складом огрудкованої частини шихти, оскільки порозність сипкого багатofракційного матеріалу залежить від відношення середніх діаметрів і кількості окремих фракцій [5].

## 1.2. Оптимізація процесу огрудкування шихти для підвищення продуктивності аглоустановки

В даному розділі дипломної роботи було вивчене дослідження [6], яке доповнює та в більшій мірі розкриває попередній розділ. Проаналізова-

не дослідження проведено на шихті наступного складу: 47 % залізорудного концентрату; 16,3 % флюсів (суміші вапняку та доломіту фракції -3 мм); 2,2 % марганцевої руди; 30 % повернення і 4,5 % палива.

Склад одержуваного агломерату (основність 1,16), %:

Fe <sub>заг</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Mn
54,60	10,16	11,82	2,12	3,92	0,87

Дослідами встановлено, що подача коксика та антрациту на попередньо огрудковану рудофлюсуючу частину шихти викликає значне підвищення швидкості спікання та продуктивності установки (рис. 1.3). Це підвищення обумовлено впливом способу подачі палива на ступінь його за-кочування частинками концентрату.

Слід зазначити, що паливо відноситься до матеріалів, що погано огрудковуються. Дані хімічного аналізу вказують на високий вміст його у фракціях шихти, що дорівнюють за крупністю класу палива. Наприклад, у дослідях з паливом крупністю -0,5 і 1-0,5 мм вміст C<sub>T</sub> у відповідних фракціях шихти коливався в межах 12-20 % проти 1-4 % для фракцій 5-3 і 9-5 мм. Однак внаслідок того, що вміст фракцій -0,5 і 1-0,5 мм в огрудкованій шихті не перевищував 1-1,5 %, а вміст фракцій 5-3 і 9-5 мм становив 70-80 %, основна кількість палива при спільному способі його подачі припадала на частку останніх фракцій шихти (рис. 1.4).

Ефективність заміни спільного способу присадки палива роздільним (з точки зору збільшення швидкості спікання для кожного класу палива) неоднакова і визначається зміною їх показників комкуємості. У дослідях з коксиком приріст швидкості спікання при роздільній подачі збільшувався по мірі підвищення його крупності для всіх перших чотирьох класів крупності. У дослідях з антрацитом це збільшення відзначалося лише для трьох перших класів. Якщо роздільна подача антрациту класу 3-2 мм не давала

відчутних результатів, то роздільна подача коксика такої ж крупності підвищила швидкість спікання на 34,3 %.

Спікання шихти на коксику та антрациті класу 5-3 мм показало неприйнятність застосування палива такої крупності при обох способах подачі: процес горіння був нестійким і мав осередковий характер, у спеку містилася велика кількість переоплавленої шихти та до 2,5 % залишкового горючого вуглецю.

Вихід придатного та міцність агломерату в залежності від способу подачі палива крупністю понад 0,5 мм змінюються досить незначно. При роздільній його подачі вихід придатного знижується на 7-9 %, тому приріст продуктивності установки в цьому випадку (4,5 %) в два з гаком рази менше приросту швидкості спікання (14 %). Для інших класів палива приріст продуктивності установки з переходом на роздільну подачу склав при спіканні на коксику крупністю 1-0,5; 2-1 і 3-2 мм відповідно 11,7; 22,2 і 30 %, а при спіканні на антрациті 8,8; 22,2 і 1,5 %.

Механічна міцність агломерату при роздільній подачі палива внаслідок більш повного його фізичного та хімічного згорання була на 1-0,5 % вища, ніж при спільному огрудкуванні. З цієї ж причини вміст FeO в агломераті зменшується на 1-2 %.

Вплив крупності палива на швидкість спікання обумовлюється зміною його питомої поверхні та загальної газопроникності шару шихти [6]. Характер зміни останньої представлений на рис. 1.3 кривими, що відображають вплив крупності палива на пористість шару  $\varepsilon$ . Оскільки залежність між розміром зерен палива та зазначеними факторами виражається прямо протилежним зв'язком, криві швидкості спікання на рис. 1.3 мають чітко виражений екстремальний характер.

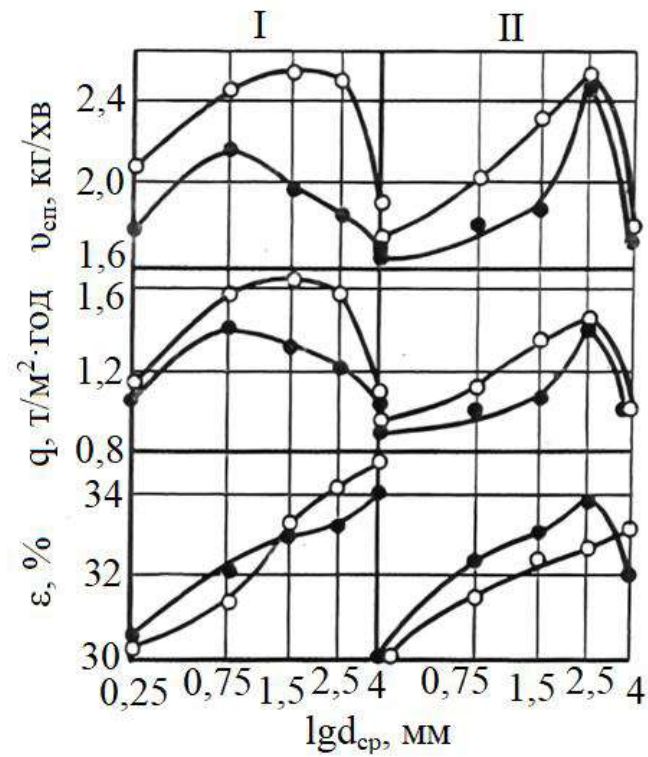


Рис. 1.3. Залежність швидкості спікання  $v_{cp}$ , питомої продуктивності  $q$  та пористості шару шихти  $\epsilon$  від крупності палива при спільному (●) та роздільному (○) способах подачі: I — коксик; II — антрацит.

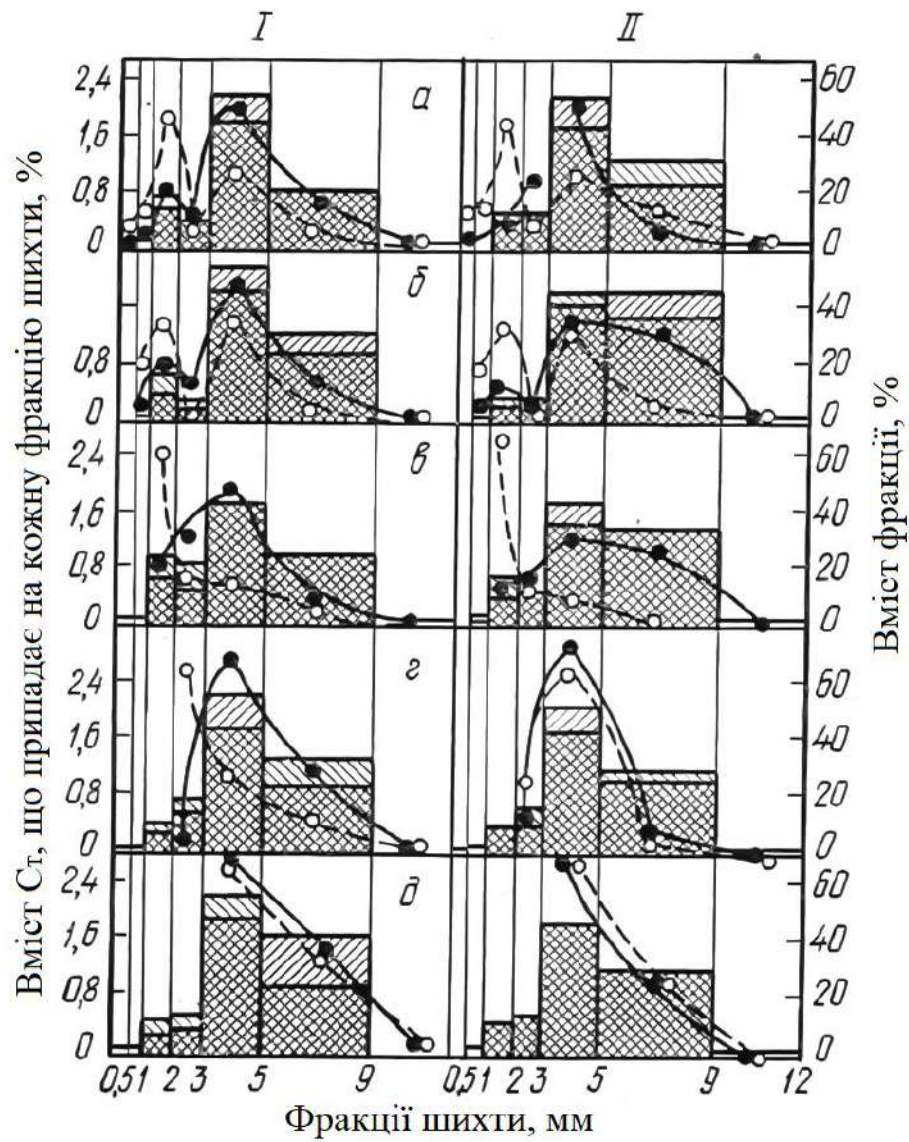


Рис. 1.4. Діаграма крупності шихти та криві розподілу вуглецю палива за її фракціями в дослідях з коксиком (I) та антрацитом (II) крупністю -0,5 (а); 1-0,5 (б); 2-1 (в); 3-2 (г) та 5-3 (д) мм при спільній (●) та роздільній (○) подачі палива.

Ординати максимумів на цих кривих відповідають такому розміру зерен палива, швидкість горіння яких не лімітується умовами дифузійного обміну. Закочування палива частинками концентрату зменшує його реакційну поверхню, що зсуває максимум швидкості спікання в бік меншої крупності палива.

Оптимальна крупність коксиків при спільній подачі відповідає класу 1-0,5 мм, а при роздільній 2-1 мм. Крім того, у другому випадку, коли коксик значно більшою мірою опиняється на поверхні гранул шихти, максимумами на кривих швидкості спікання та продуктивності установки розмиті і, навпаки, при спільному огрудкуванні коксиків з шихтою вони чітко виражені.

Отже, при роздільній подачі палива межі розмірів його частинок, що відповідають максимальній продуктивності установки, розсуваються і становлять 3-0,5 мм. Питома продуктивність установки при спіканні на такому коксикі в умовах подачі його на попередньо огрудковану шихту на 32 % більша, ніж у випадку спікання на коксикі класу 3-0 мм при спільному огрудкуванні.

Оптимальною крупністю антрациту, що відповідає максимальним значенням швидкості спікання та продуктивності установки при обох способах подачі, є клас 3-2 мм (рис. 1.3). Так само, як і в дослідях з коксиком, максимумами на кривих, що відображають зміну названих параметрів, при роздільній подачі мають більш розмитий характер, ніж при спільній.

Непостійна різниця між значеннями питомої продуктивності та швидкості спікання на коксикі та антрациті різних класів крупності пояснюється відмінністю в характері зміни їх реакційної здатності та поверхневих властивостей зі зростанням крупності гранул палива. Показники огрудковуючих властивостей коксиків зі збільшенням його крупності зростають, і він набуває здатності виступати в ролі зародків центрів огрудкування (рис. 1.4). Останнє поряд з поліпшенням газопроникності шару ши-

хти призводить до різкого зниження активної реакційної поверхні палива. Огрудкуючі властивості антрациту зі зростанням його крупності знижуються настільки, що зміна способу подачі палива крупністю понад 2 мм вже не позначається на ступені їх закочування. Внаслідок цього швидкість спікання на антрациті класу 3-2 мм залишається постійною при тому й іншому способах подачі та на 32 % більша, ніж на коксику цього ж класу при спільному огрудкуванні.

## Висновки по аналітичній частині

1. Завдання дослідження, що було проаналізована в даній частині дипломної роботи – вивчити вплив ступеня огрудкування палива на показники процесу спікання при подачі його двома способами: 1) до рудофлюсуючих компонентів шихти до огрудкування та 2) на огрудковану шихту через 45 сек після остаточного її зволоження на тарілчастому грануляторі.

2. Отже, при першому способі подачі оптимальний розмір частинок палива визначатиметься їх фізичними властивостями з точки зору здатності до огрудкування. У випадку подачі палива на попередньо огрудковану шихту оптимальна його крупність визначатиметься гранулометричним складом огрудкованої частини шихти, оскільки порозність сипкого багатofракційного матеріалу залежить від відношення середніх діаметрів і кількості окремих фракцій.

3. Дослідами на двох видах шихти, представленої криворізькими рудами та концентратом, встановлено, що ступінь прояву реакційної здатності палива визначається характером його взаємодії з іншими компонентами шихти в процесі огрудкування.

4. Подача палива на попередньо огрудковану шихту зменшує ступінь його заочування, завдяки чому поліпшуються умови зовнішнього дифузійного обміну при горінні палива в процесі спікання. Це обумовлює підвищення швидкості спікання в дослідях на коксику та антрациті відповідно на 12-34 і 12-22 %, а продуктивність аглоустановки зростає на 5-22 % для обох видів палива (нижні межі зазначених величин відносяться до палива класу -0,5 мм).

5. Подача палива на попередньо огрудковану шихту розширює межі розмірів його частинок, що відповідають максимальній швидкості спікання та продуктивності установки, а спільне огрудкування палива з шихтою, навпаки, звужує ці межі.

6. Паливо крупністю -0,5 і 5-3 мм виявляється неприйнятним для агломераційного виробництва при спіканні руд і концентратів.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Дослідження механізму впливу характеристик коксового дріб'язку на агломераційний процес

Горіння палива в шарі вирішальною мірою визначає показники агломераційного процесу. Різні експериментальні дані [7-9] не дають змоги зробити однозначний висновок про оптимальні розміри коксового дріб'язку для агломерації залізних руд. Причиною цього є прагнення дослідників проводити досліди в умовах постійної вологості шихти, в той час як зміна гранулометрії палива впливає на вологоємність шихти і процес її грануляції. У зв'язку з цим, у цьому розділі дипломної роботи, проаналізовано дослідження, в яких визначали вплив крупності палива на величину оптимальної вологості аглошихти і виявляли закономірності впливу крупності палива на аглопроцес в умовах оптимальної вологості шихти.

Досліди проводили в лабораторній аглочаші діам. 150 мм і висотою 250 мм; шихту основністю  $\text{CaO/SiO}_2 = 1,3$  складали із суміші криворізької руди 2 (кар'єр Південний) (35 %), концентрату рудозбагачення НКГЗК (20 %), вапняку (15 %), повернення (26 %) і коксику (4 %), яку огрудковували в лабораторному барабані діам. 500 мм і завдовжки 1200 мм за швидкості обертання останнього 7,5 об/хв. Для дослідів використовували окремі класи коксового дріб'язку крупністю 0-0,4; 0,4-1,0; 1,0-2,5; 2,5-3 мм. Умови укладання і заповнення шихти підтримували постійними; вихід придатного визначали за кількістю фракції +8 мм після дворазового скидання на сталеву плиту з висоти 2 м.

Замір кількості газів, що відходять, здійснювали за перепадом тиску на вимірювальній діафрагмі, встановленій між аглочашею та ексгаустером. Кількість повітря на спікання регулювали під час досліду вручну шляхом дроселювання газопроводу газів, що відходять.

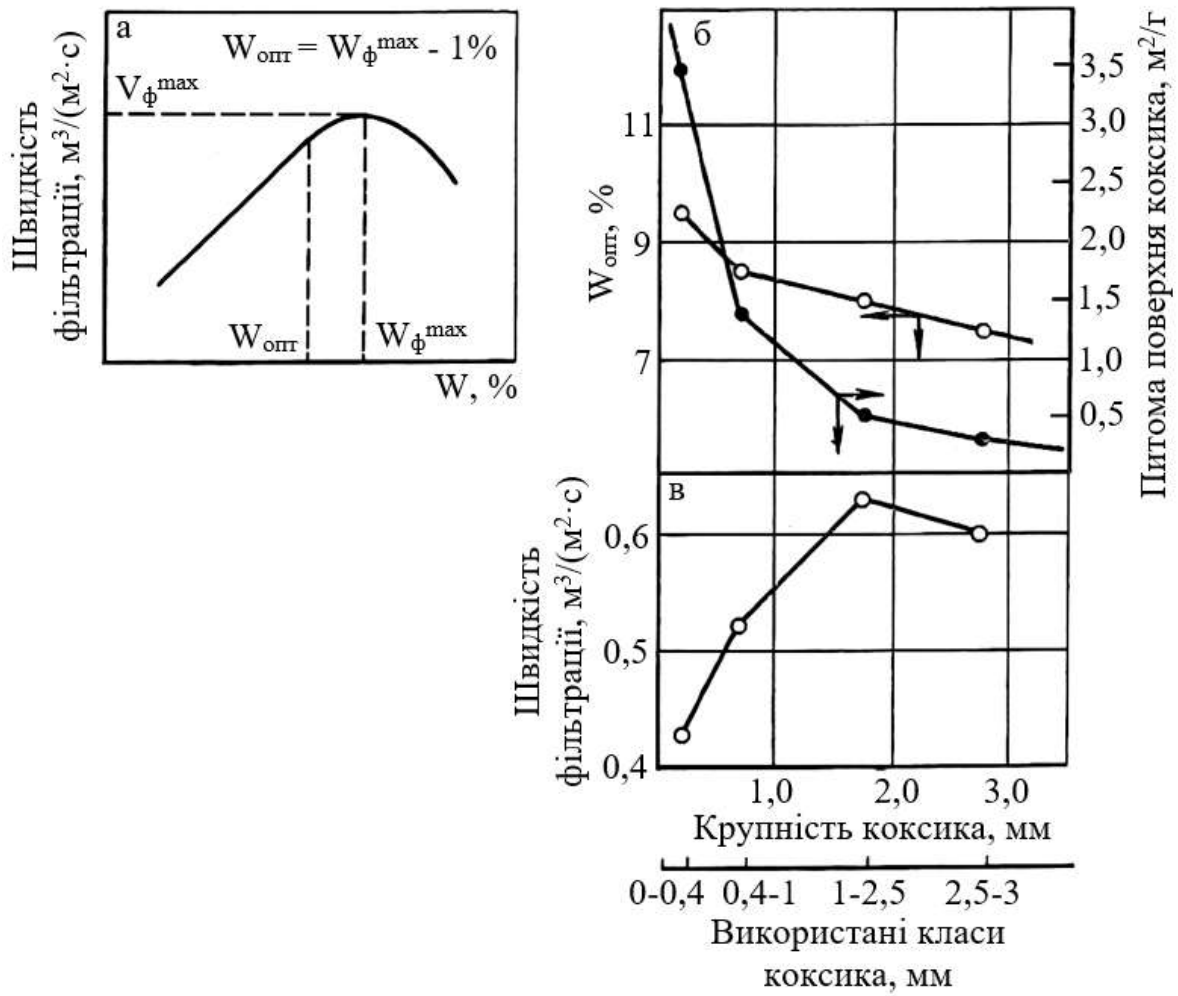


Рис. 2.1. Вплив крупності палива і вологості шихти  $W$  на газопроникність аглошару в холодному стані ( $\Delta P_{\text{поч}} = 800 \text{ мм вод. ст.}$ );  $W_{\text{опт}} = W_{\phi}^{\text{max}} - 1 \%$

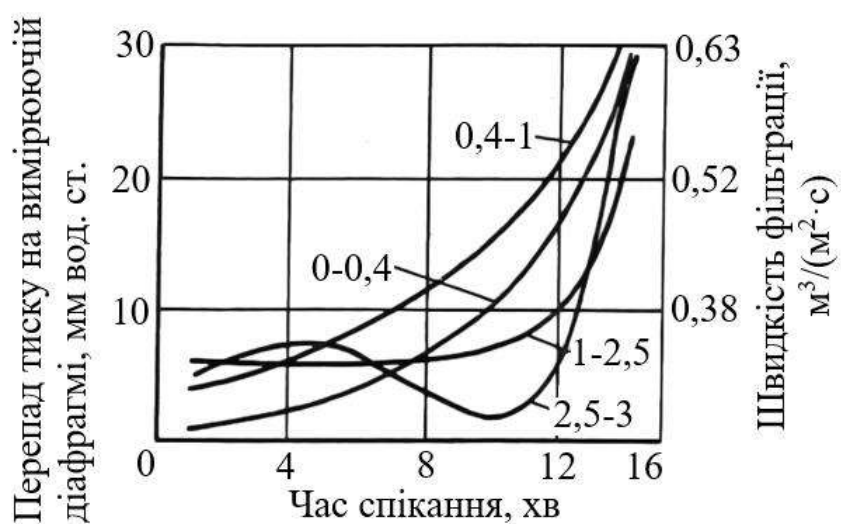


Рис. 2.2. Зміна газопроникності аглошару під час спікання;  
цифри у кривих – крупність використаного палива, мм

Для кожної крупності палива отримали характерну залежність зміни швидкості фільтрації повітря від вологості шихти (рис. 2.1, а). У міру подрібнення палива в дослідженому діапазоні оптимальна вологість шихти, яка в середньому на 1 % (абс.) нижча за вологість, що забезпечує максимальну газопроникність  $W_{\phi}^{\max}$  [10], зростає з 7,5 до 9,5 % (рис. 2.1, б), тобто більш ніж у 1,26 раза. Очевидно, цю обставину можна пояснити збільшенням на цілий порядок питомої поверхні палива під час переходу від класу коксикау 2,5-3 до класу 0-0,4 мм (рис. 2.1, б), що, як відомо [11], при зволоженні супроводжується зростанням кількості плівкової молекулярно зв'язаної води.

Газопроникність шихти також помітно змінюється в умовах використання коксикау різної крупності (рис. 2.1, в), причому подрібнення палива призводить до різкого зниження вихідної швидкості фільтрації повітря через шар у зв'язку зі зменшенням середнього розміру грудок окатаної шихти, що добре узгоджується з даними раніше виконаних досліджень [7-9].

Крупність аглопалива істотно впливає і на динаміку агломераційного процесу: якщо на дрібному паливі швидкість фільтрації повітря монотонно зростає під час спікання (рис. 2.2), досягаючи до кінця процесу значень, які в кілька разів перевищують її величини в початковий момент спікання, то в міру укрупнення палива (наприклад, на фракції 1-2,5 мм) спостерігається відносно тривалий період стабілізації швидкості фільтрації повітря через аглошар (більше половини часу спікання). Подальше збільшення крупності палива до 2,5-3 мм супроводжується появою інтервалу, протягом якого швидкість фільтрації дещо знижується, але інтенсивно компенсується до кінця спікання. Аналогічне уповільнення швидкості спікання на великих класах коксового дріб'язку відзначалося і в раніше опублікованих дослідженнях [8]. Газопроникність шару, що спікається, визначається газопроникністю шару агломерату, що формується, і газопроникністю зон горіння палива і плавлення шихти.

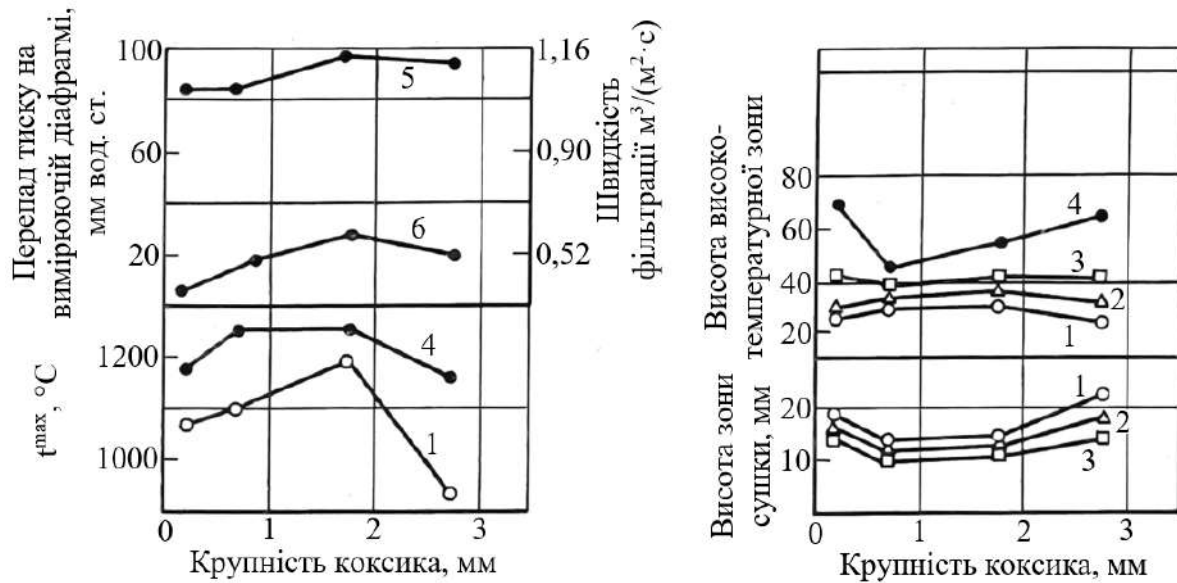


Рис. 2.3. Показники процесу спікання під час роботи на коксовому дріб'язку різної крупності та постійному початковому розрідженні під колосниковою решіткою ( $\Delta P_{\text{поч}} = 800$  мм вод. ст.): 1-4 – номери горизонтів аглочації (зверху вниз); 5 – готовий аглоспек; 6 – сира шихта

Крупність палива є однією з найважливіших обставин, що впливають на розміри зони горіння, а отже, і на величину газодинамічного опору, створюваного цією зоною. У проаналізованих дослідах величину зони горіння було визначено візуально через кварцове скло шляхом виміру лінійної області найяскравішої світності.

У міру переміщення зони горіння донизу висота зони світності поступово збільшується (рис. 2.3), найбільшою мірою це має місце на крупному коксикі (2,5-3 мм), найменша зміна розмірів зони світності спостерігалася на паливі 0,4-1 мм. Під час переходу до тонкоподрібненого коксикі (0-0,4 мм) розширення зони знову стає значним, однак слід зазначити, що в останньому випадку зона світності характеризується великою неоднорідністю: найбільшу світність спостерігали в нижній частині зони, що становить приблизно 1/2-1/4 (10-20 мм) загальної висоти зони, верхня частина мала вишневий відтінок, яскравість якого знижувалась у напрямі верхньої границі зони.

Зіставлення даних про зміну швидкостей фільтрації та розмірів зони горіння під час спікання дає змогу дійти висновку, що зростаючий газодинамічний опір зони горіння та відповідний розвиток рідких фаз під час роботи на великому паливі значний час превалюють над впливом зростаючого шару готового агломерату та гальмують перебіг процесу (спадаюча ділянка кривої швидкості фільтрації для класу 2,5-3 мм на рис. 2.2 у період між 4-ю та 11-ю хвилинами досліду), на завершальній стадії досліду висока газопроникність аглоспека виявляється визначальним фактором і швидкість фільтрації різко зростає. Період стабільних значень швидкості фільтрації на паливі 1-2,5 мм протягом 70 % тривалості процесу може бути пояснений врівноваженням протилежних впливів, з одного боку, зони горіння, що розширюється (меншою мірою порівняно з попереднім випадком), а з іншого – зростанням шару готового аглоспека. Мінімальне розширення під час спікання зони високих температур (зони світіння), що спостеріга-

лося під час роботи на коксикі крупністю 0,4-1 мм, збігається з монотонним зростанням швидкості фільтрації повітря протягом усього досліду в міру утворення аглоспека.

Зазначена неоднорідність зони горіння (світності) під час використання переподрібненого палива зумовлює наявність рідких фаз не в усьому об'ємі зони, а тільки в нижній її частині, що знижує газодинамічний опір зони високих температур порівняно з умовами роботи на крупному паливі, незважаючи на її більші розміри. Зміна газопроникності аглошару під час досліду в даному випадку також є монотонною, хоча абсолютні значення швидкостей фільтрації виявилися для фракції 0-0,4 мм меншими порівняно з фракцією 0,4-1 мм, що можна пояснити більш низькою газопроникністю сирової шихти і готового агломерату (рис. 2.3).

У повній відповідності з описаними закономірностями зміни висоти зони високих температур відбувається зміна розмірів і зони сушіння: звуження зони високих температур, що супроводжується досягненням найвищих температур у шарі, призводить до звуження і зони сушіння.

Отримані залежності температури в шарі та висоти зони високих температур від крупності палива (рис. 2.3) є експериментальним підтвердженням відомих тверджень [12] про екстремальний зв'язок цих показників з реакційною здатністю палива: надмірне зниження реакційної здатності коксової дрібноти (наприклад, завдяки використанню більших фракцій) призводить до відставання фронту горіння від швидкості теплопередачі в шарі з відповідним розтягуванням зони високих температур, абсолютні значення яких знижуються; застосування високореакційного палива (фракція 0-0,4 мм) також обумовлює появу розтягнутої зони високих температур, але, на відміну від попереднього, ця обставина пов'язана з надмірно великою швидкістю просування фронту горіння.

Оптимальне співвідношення швидкостей горіння частинок коксової дрібниці і прогрівання шару шихти спостерігається на класах коксикі

крупністю 0,4-1 і 1-2,5 мм, використання яких забезпечує найвищі значення температур у шарі. Відповідно до температурних умов процесу змінюється і вихід придатного агломерату, питома продуктивність установки практично лінійно пов'язана із загальною витратою повітря за весь період спікання:

Крупність коксового дріб'язку, мм	0-0,4	0,4-1	1-2,5	2,5-3
Температура в шарі, °С*	1070 / 1170	1100 / 1250	1190 / 1250	930 / 1160
Вихід придатного, %	68,5	74,0	73,5	68,0
Питома продуктивність, т·м <sup>2</sup> /год	1,00	1,20	1,00	0,87
Сумарна витрата повітря на спікання, м <sup>3</sup>	24,8	35,4	23,3	20,9

\* У чисельнику – верх шару, у знаменнику – низ.

Таким чином, вплив крупності агломераційного палива на процес спікання проявляється не тільки через зміну газопроникності шару сирової шихти, а й через зміну сумарної газопроникності агломераційного шару під час спікання, яка визначається головним чином розмірами зони горіння вуглецю і плавлення шихтових матеріалів.

2.2. Поліпшення показників роботи агломераційної машини за рахунок подачі палива наприкінці огрудкування шихти

Численні літературні дані [13, 14 та інші] свідчать про те, що найефективнішим методом використання палива при агломерації є подавання його наприкінці огрудкування шихти. Стосовно шихтових умов і техноло-

гічної схеми (двошарове завантаження) аглофабрики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» проведено дослідження з вивчення ефективності цієї технології. Хімічний склад шихтових матеріалів такий:

Матеріал	Fe	Вміст компонента, %					Зола
		FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	
Концентрат	68,63	28,38	0,75	5,72	0,90	0,53	–
Руда 1	56,97	10,60	1,50	10,00	4,40	0,36	–
Руда 2	54,45	11,49	1,30	9,68	3,40	0,40	–
Вапняк (суміш звичайного і доломітизованого)	–	–	40,80	–	–	8,00	–
Коксик (зола)	30,00	–	2,04	49,60	15,80	–	12,67
Антрацитовий штиб (зола)	14,70	–	4,12	50,00	24,25	–	16,06

Вміст вуглецю в коксикі й антрацитовому штибі дорівнює 82,4 і 72,1 % відповідно.

Гранулометричний склад палива наведено нижче:

Паливо	Вміст фракції (мм), %			
	0-1	1-2	2-3	+3
Коксик	41,4	44,0	12,1	1,9
Антрацитовий штиб	29,7	19,3	45,8	5,2

Лабораторні спікання виконані в круглій чаші (площа спікання  $S_{сп} = 0,073 \text{ м}^2$ ) на установці, що дає змогу автоматично реєструвати склад, кількість і температуру відсмоктуваного газу, витрату повітря. Спікаєма шихта складалася з 27,0 % концентрату 2; 3,0 % руди 1; 16,0 % руди 1; 11,0 % вапняку; 28,0 % повернення; 3,0 % вапна (CaO = 46,08 %) і 4,0 % палива.

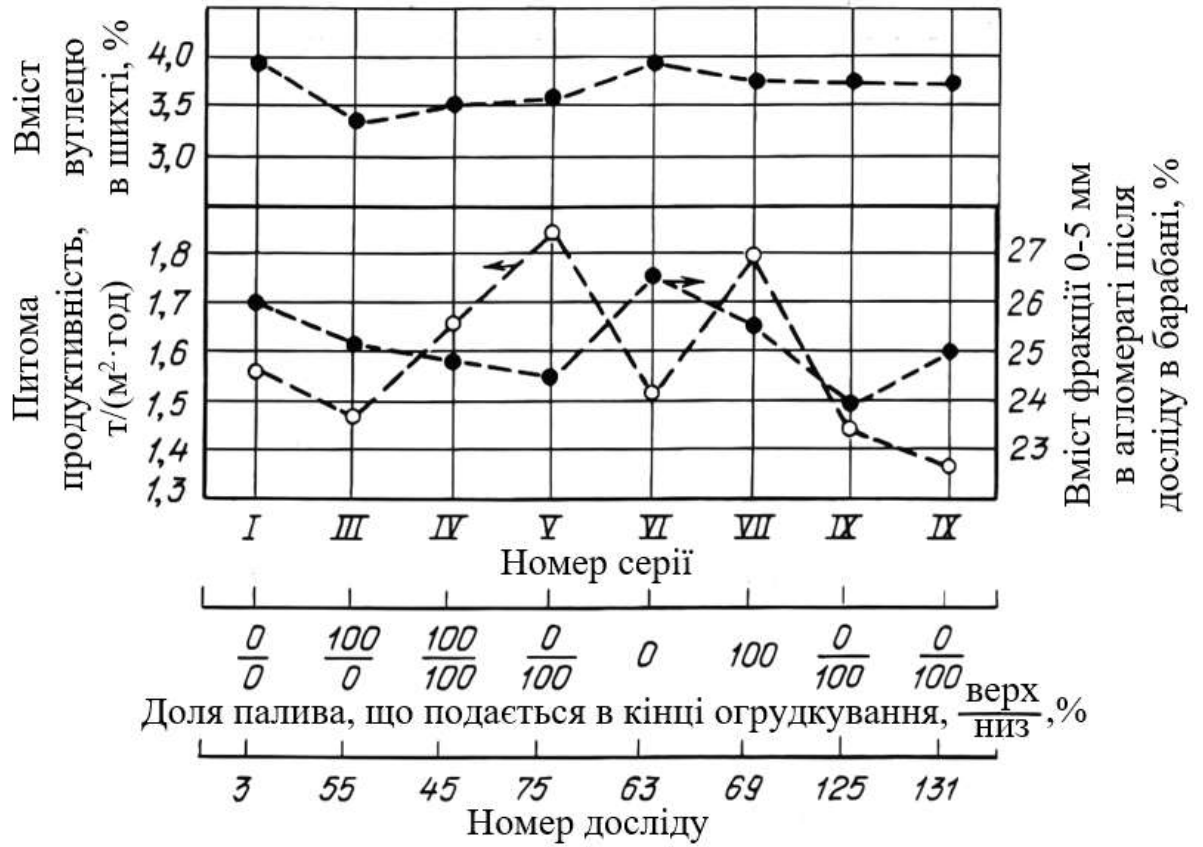


Рис. 2.4. Результати спікань шихти за різних способів подачі палива

Спiкання розбито на дев'ять серiй, що об'єднують можливі варіанти застосування нової технології за наявності двох видів палива – коксового дріб'язку й антрацитового штибу (серії I-VIII з коксовим дріб'язком; серія IX з антрацитовим штибом). На рис. 2.4-2.6 представлені усереднені результати основних серiй. Усі подальші порівняння нових варіантів використання палива будуть проводитися відносно звичайної технології, представленої серією I.

При подачі 100 % палива наприкінці огрудкування верхнього шару шихти його витрата зменшилася на 12,8 % (рис. 2.4, серія III), однак і продуктивність знизилася на 5,7 % за практично незмінної міцності агломерату. Зниження продуктивності відбувається через неузгодженість високої швидкості згоряння палива у верхньому шарі та швидкості руху теплової хвилі, що не забезпечує необхідних теплових умов агломераційного спікання в нижньому шарі та погіршує умови згоряння закомкованого палива (рис. 2.5, серія III) нижнього шару.

Подача палива наприкінці огрудкування шихти кожного шару (секція IV) інтенсифікує процес згоряння палива: вміст CO в газі на 1,5-2,0 % вищий, ніж за звичайної технології, а вміст O<sub>2</sub> не перевищує 2,5-3,0 % (рис. 2.5). Поліпшення умов спалювання палива призводить до зростання продуктивності установки до 1,68 т/(м<sup>2</sup>·год) і до деякого поліпшення міцності агломерату. Найвищі результати отримано при подачі палива наприкінці огрудкування нижнього шару: питома продуктивність досягла величини 1,84 т/(м<sup>2</sup>·год), вміст дрібних фракцій в агломераті не перевищив 24,5 %, а витрата палива знизилася майже на 8 % (рис. 2.4, серія V). Поліпшення показників процесу пов'язане з тим, що в цій серії інтенсивніше протікав процес згоряння палива: збільшилося значення відношення CO/CO<sub>2</sub> у відсмоктуваному газі, а вміст O<sub>2</sub> не перевищував 3-3,5 % (рис. 2.4, 2.5).

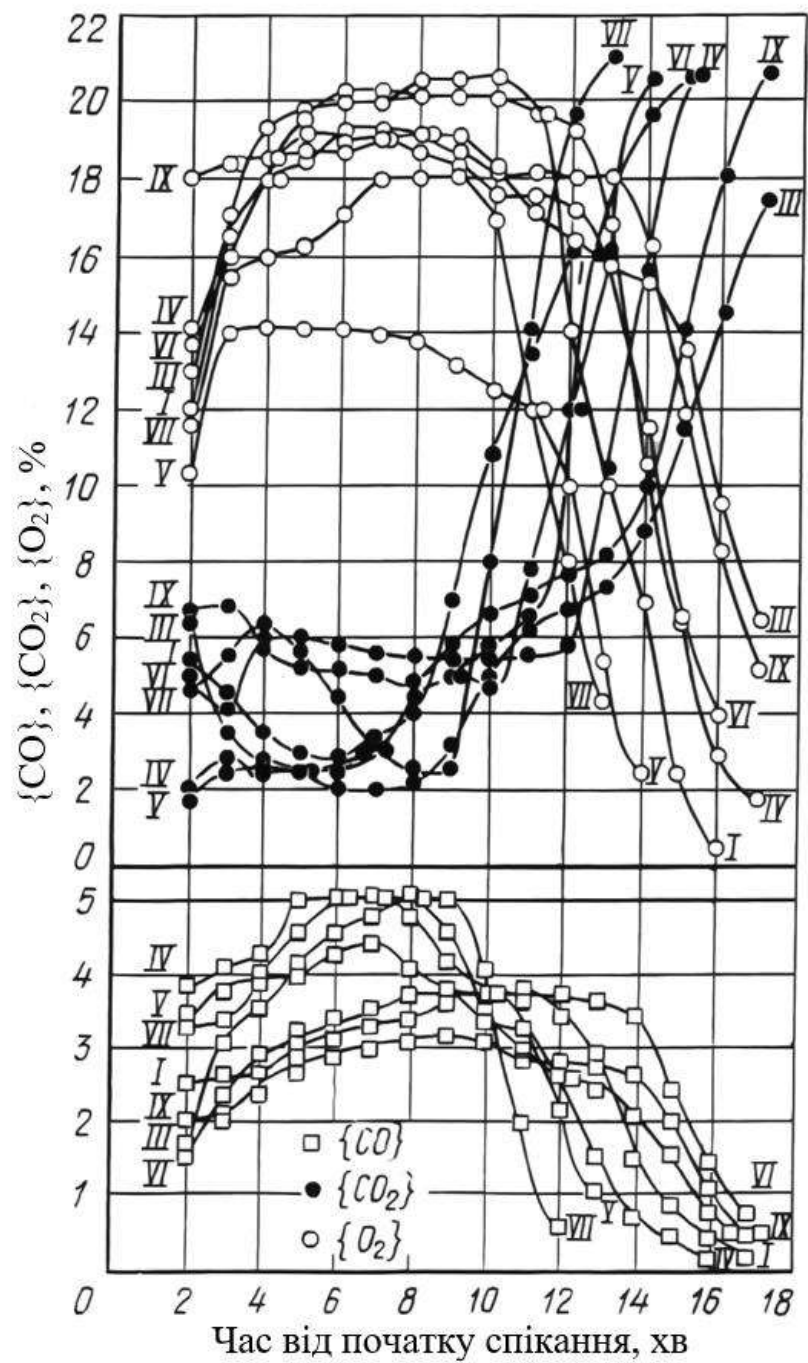


Рис. 2.5. Зміна складу відсмоктуваного газу по ходу спікання.

Цифри у кривих – номери серій

Результати спікання в серіях VI і VII наочно показують вплив способу подачі палива в шихту при спіканні одношарових шихт. Подача палива наприкінці огрудкування помітно збільшує продуктивність установки і покращує якість агломерату (рис. 2.4, 2.5).

Під час спікання шихт з використанням антрацитового штиба (серія IX) ефект від нової технології менший, ніж у разі спікання з коксовим дріб'язком. Це пов'язано з особливостями поверхневих властивостей частинок антрацитового штибу, що знижують імовірність його закупорювання в гранули навіть за звичайної технології підготовки шихти. Крім того, у процесі спікання антрацитовий штиб згорає повільніше в шарі шихти, ніж коксик; зона високих температур розтягнута, про що свідчить вміст CO в газі, що відходить (рис. 2.5). Особливо це стосується антрацитового штибу з високим (більше 15 %) вмістом золи. Виплавляючись під час згорання палива, зола підвищує вміст  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (основних компонентів золи – див. вищенаведені дані) у рідкій фазі, яка оточує палаючу частинку, що погіршує властивості останньої. Це ускладнює доступ  $\text{O}_2$  до палива і знижує газопроникність високотемпературної зони спікливого шару.

Накат палива покращує не тільки умови згорання його в шарі, а й змінює умови огрудкування шихти та її спікання. Виведення з шихти компонента, що погано комкується, знижує частку дрібних (0-3 мм) фракцій огрудкованої шихти (рис. 2.7), а подача палива наприкінці огрудкування різко збільшує питому вагу палива в мікрооб'ємах шихти (фракція 0-3 мм), що визначає склад первинних рідких фаз. При згорянні палива в таких умовах забезпечується висока температура рідких фаз, що знижує їхню в'язкість і поліпшує газопроникність лімітуючої високотемпературної зони. Про це свідчать дані про витрату повітря. Вона збільшується при спіканні шихти з накатом палива (рис. 2.6).

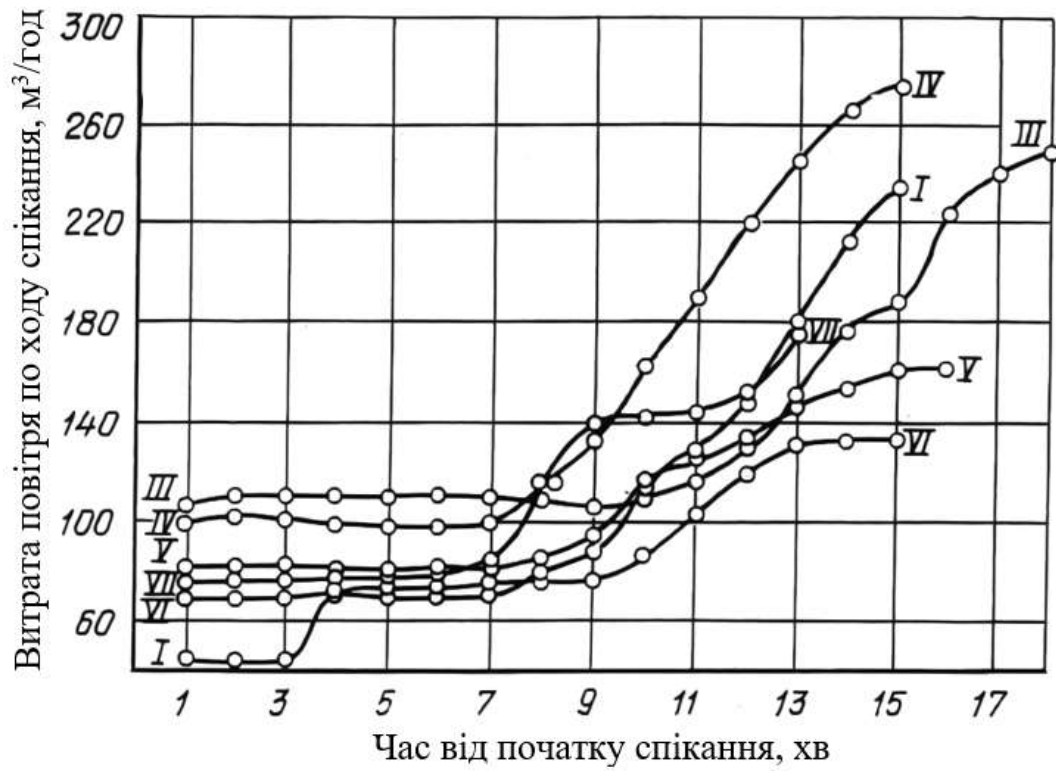


Рис. 2.6. Зміна витрати повітря за ходом спікання.

Цифри у кривих – номери серій

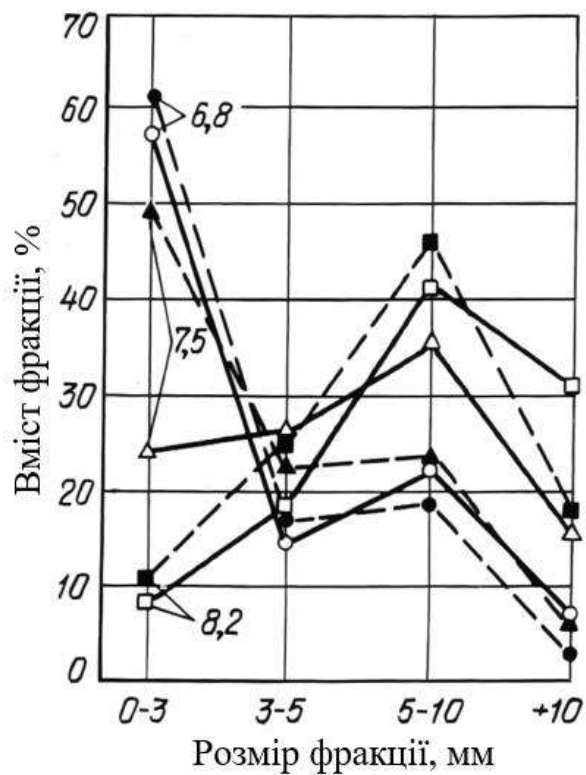


Рис. 2.7. Зміна гранулометричного складу огрудкованої шихти за різного способу подачі палива: ——— - накочування; - - - - - звичайна технологія. Цифри біля кривих – вологість шихти при огрудкуванні, %.

Проведене дослідження засвідчило, що подача палива наприкінці огрудкування шихти є найважливішим резервом у справі поліпшення показників роботи агломераційних фабрик: збільшенні продуктивності агломашин, зниженні витрат палива і поліпшення якості агломерату. Серед аглофабрик України застосування нової технології використання палива з мінімальними витратами можливе на аглофабриці ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та «Запоріжсталі» [12-17].

## Висновки по основній частині

1. Існує оптимальний діапазон крупності коксового дріб'язку (зокрема 0,4-1 мм і 1-2,5 мм) для агломерації, який забезпечує найкращі температурні умови в шарі, найвищий вихід придатного агломерату та максимальну питому продуктивність установки. Надмірне подрібнення (0-0,4 мм) або укрупнення (2,5-3 мм) палива погіршує ці показники, впливаючи на оптимальну вологість шихти, газопроникність шару та динаміку горіння та плавлення.

2. Вплив крупності палива проявляється не лише через зміну початкової газопроникності сирової шихти, але й через динаміку газопроникності в процесі спікання. Це пов'язано зі зміною розмірів та характеристик (однорідності, в'язкості рідких фаз) зони горіння вуглецю та плавлення шихтових матеріалів, що є ключовим фактором газодинамічного опору шару.

3. Подача палива наприкінці огрудкування шихти (так званий "накат" палива) є високоефективним методом покращення показників агломерації. Ця технологія призводить до зниження витрати палива, збільшення продуктивності агломашин та покращення якості агломерату, особливо при її застосуванні до нижнього шару шихти в умовах двошарового завантаження.

4. Покращення показників при "накаті" палива пояснюється зміною гранулометричного складу огрудкованої шихти (зниженням частки дрібних фракцій) та збільшенням концентрації палива в мікрооб'ємах шихти (фракція 0-3 мм). Це забезпечує вищі температури рідких фаз, знижує їхню в'язкість і поліпшує газопроникність лімітуючої високотемпературної зони, що підтверджується збільшенням витрати повітря під час спікання.

5. Використання антрацитового штибу згідно з новою технологією менш ефективно порівняно з коксовим дріб'язком через його повільніше згорання та особливості зольності, що погіршує умови доступу кисню та

газопроникність високотемпературної зони. Проте, загалом, технологія "накату" палива має значний потенціал для впровадження на аглофабриках України, зокрема на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та «Запоріжстали».

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1. Законодавство в області охорони праці

Охорона праці є однією з найважливіших складових ефективного та відповідального функціонування будь-якого промислового підприємства. Життя та здоров'я працівників є найвищою цінністю, і забезпечення безпечних умов праці є пріоритетним завданням для керівництва та кожного співробітника.

Агломераційне виробництво, як складова металургійної галузі, характеризується наявністю низки специфічних ризиків та небезпечних виробничих факторів. До них відносяться вплив високих температур та теплового випромінювання від розпечених матеріалів, значне пилоутворення (особливо при роботі з дрібнодисперсними матеріалами, такими як руда, концентрат, коксик, вапняк), наявність шкідливих газів та аерозолів (наприклад, оксидів вуглецю, сірки), підвищений рівень шуму від працюючого обладнання, використання великогабаритного обладнання, що рухається (конвеєри, дробарки, грохоти, вентилятори), а також ризик падіння з висоти та ураження електричним струмом.

Цей розділ дипломної роботи присвячений комплексному аналізу та розробці заходів із забезпечення належного рівня охорони праці на агломераційному виробництві. Його метою є ідентифікація потенційних небезпек, оцінка ризиків та обґрунтування ефективних рішень для мінімізації й усунення шкідливих та небезпечних виробничих факторів. В межах розділу буде розглянуто вимоги до виробничих приміщень та обладнання, організацію безпечної експлуатації технологічних процесів, необхідність застосування засобів індивідуального та колективного захисту, питання професійного навчання та інструктажу працівників з питань охорони праці, а також основи пожежної безпеки та електробезпеки. Лише системний

підхід до охорони праці, що базується на дотриманні законодавчих норм, впровадженні сучасних технологій безпеки та формуванні культури безпеки серед персоналу, може забезпечити не тільки збереження життя та здоров'я працівників, а й стабільне функціонування виробництва та підвищення його загальної ефективності.

### 3.2. Розрахункова частина

У цеху площею  $100 \times 40 \text{ м}^2$  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 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,  $\text{м}^2$ ;  $k$  – 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 Вт, напрузі 127 В і світильниках прямого світла приймаємо  $E_{\text{сер}} = 4,15$ .

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. Завдання дослідження, що було проаналізована в даній частині дипломної роботи – вивчити вплив ступеня огрудкування палива на показники процесу спікання при подачі його двома способами: 1) до рудофлюючих компонентів шихти до огрудкування та 2) на огрудковувану шихту через 45 сек після остаточного її зволоження на тарілчастому грануляторі.

2. Отже, при першому способі подачі оптимальний розмір частинок палива визначатиметься їх фізичними властивостями з точки зору здатності до огрудкування. У випадку подачі палива на попередньо огрудковану шихту оптимальна його крупність визначатиметься гранулометричним складом огрудкованої частини шихти, оскільки порозність сипкого багатofракційного матеріалу залежить від відношення середніх діаметрів і кількості окремих фракцій.

3. Дослідами на двох видах шихти, представленої криворізькими рудами та концентратом, встановлено, що ступінь прояву реакційної здатності палива визначається характером його взаємодії з іншими компонентами шихти в процесі огрудкування.

4. Подача палива на попередньо огрудковану шихту зменшує ступінь його заочухання, завдяки чому поліпшуються умови зовнішнього дифузійного обміну при горінні палива в процесі спікання. Це обумовлює підвищення швидкості спікання в дослідгах на коксику та антрациті відповідно на 12-34 і 12-22 %, а продуктивність аглоустановки зростає на 5-22 % для обох видів палива (нижні межі зазначених величин відносяться до палива класу -0,5 мм).

5. Подача палива на попередньо огрудковану шихту розширює межі розмірів його частинок, що відповідають максимальній швидкості спікання та продуктивності установки, а спільне огрудкування палива з шихтою, навпаки, звужує ці межі.

6. Паливо крупністю -0,5 і 5-3 мм виявляється неприйнятним для агломераційного виробництва при спіканні руд і концентратів.

7. Існує оптимальний діапазон крупності коксового дріб'язку (зокрема 0,4-1 мм і 1-2,5 мм) для агломерації, який забезпечує найкращі температурні умови в шарі, найвищий вихід придатного агломерату та максимальну питому продуктивність установки. Надмірне подрібнення (0-0,4 мм) або укрупнення (2,5-3 мм) палива погіршує ці показники, впливаючи на оптимальну вологість шихти, газопроникність шару та динаміку горіння та плавлення.

8. Вплив крупності палива проявляється не лише через зміну початкової газопроникності сирової шихти, але й через динаміку газопроникності в процесі спікання. Це пов'язано зі зміною розмірів та характеристик (однорідності, в'язкості рідких фаз) зони горіння вуглецю та плавлення шихтових матеріалів, що є ключовим фактором газодинамічного опору шару.

9. Подача палива наприкінці огрудкування шихти (так званий "накат" палива) є високоефективним методом покращення показників агломерації. Ця технологія призводить до зниження витрати палива, збільшення продуктивності агломашин та покращення якості агломерату, особливо при її застосуванні до нижнього шару шихти в умовах двошарового завантаження.

10. Покращення показників при "накаті" палива пояснюється зміною гранулометричного складу огрудкованої шихти (зниженням частки дрібних фракцій) та збільшенням концентрації палива в мікрооб'ємах шихти (фракція 0-3 мм). Це забезпечує вищі температури рідких фаз, знижує їхню в'язкість і поліпшує газопроникність лімітуючої високотемпературної зони, що підтверджується збільшенням витрати повітря під час спікання.

11. Використання антрацитового штибу згідно з новою технологією менш ефективно порівняно з коксовим дріб'язком через його повільніше згорання та особливості зольності, що погіршує умови доступу кисню та

газопроникність високотемпературної зони. Проте, загалом, технологія "накату" палива має значний потенціал для впровадження на аглофабриках України, зокрема на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та «Запоріжстали».

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

13. 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 промислового тепла, іскор і полум'я.

## Перелік бібліографічних джерел

1. Мьяновська, Я. В., et al. "Фізико-хімічні основи і реалізація технології спікання агломерату основністю 1,6 з застосуванням руди родовища Суха Балка." Теорія і практика металургії 6 (2018): 81-92.

2. Arikata Y., Yamamoto K., Sassa Y. Effect of Coke Breeze Addition Timing on Sintering Operation. ISIJ International. 2013. Vol. 53, no. 9. P. 1523–1528. URL: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.53.1523> (date of access: 16.04.2025).

3. Coke combustion efficiency in sintering. Fuel and Energy Abstracts. 2002. Vol. 43, no. 3. P. 206. URL: [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(02\)85893-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(02)85893-3) (date of access: 16.04.2025).

4. Combustion behavior of granulated coke breeze in iron ore sintering / L. Xiong et al. Powder Technology. 2018. Vol. 340. P. 131–138. URL: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.010> (date of access: 16.04.2025).

5. Effect of replacement of coke breeze by petroleum coke on the parameters of sintering process / M. Shalabi et al. The 8th International Mineral Processing Symposium, Antalya/Turkey. Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742, 2017. URL: <https://doi.org/10.4324/9780203747117-78> (date of access: 16.04.2025).

6. Ri D.-W., Chung B.-J., Choi E.-S. Effects of anthracite replacing coke breeze on iron ore sintering. Revue de Métallurgie. 2008. Vol. 105, no. 5. P. 248–254. URL: <https://doi.org/10.1051/metal:2008038> (date of access: 16.04.2025).

7. Теоретические основы производства окускованного сырья. Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д., Иващенко В.П., Крикунов Б.П., Ягольник М.В., Бойко М.Н. – Днепропетровск, ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.

8. Плотніков В.В., Саїтгарєєв Л.В. Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. – Вісник ПГТУ. – Вип 25. – 2018. – С.41-46.

9. Семакова В.Б., Пилюгин Е.И., Безруков В.В. Исследование процесса спекания агломерата с добавкой в шихту калиброванного возврата. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 2 (23). – С. 40–45.

10. Бочка В.В., Сова А.В., Двоєглазова А.В. Улучшение качества агломерата путем усовершенствования способа подготовки шихты. Металл и литье Украины. – 2019. – № 1–2. – С. 3–10.

11. Безверхий И.В., Томаш А.А. Исследование влияния интенсифицирующих факторов на показатели процесса агломерации. Наукові праці ДонНТУ. Металургія. 2009. № 11 (159). С. 3–12.

12. Мных А.С., Яковлева И.Г., Пазук М.Ю., Овчиникова И.А. Исследование газодинамического сопротивления слоя полидисперсной агломерационной шихты, подготовленной к спеканию. Промышленная теплотехника. 2015. Том 3. № 5. С. 16–22.

13. Греков В.В., Семенов А.К., Исаенко Г.Е., Кузнецов А.С. Пути повышения производительности агломашин и освоение производства различных видов агломерата. Сталь. 2005. № 12. С. 6–8.

14. Савельев С.Г., Кондратенко М.Н. Системное исследование технологических параметров, определяющих интенсивность агломерационного процесса. Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2021. Т. 64. № 3. С. 184-191.

15. Бочка В.В., Сова А.В., Двоєглазова А.В., Ягольник М.В., Ващенко М.О. Особливості спікання агломерату при використанні шихти з попередньо підготовленими композитами. Сучасні проблеми металургії. 2019. № 22. С. 3–12.

16. Исаенко Г.Е., Сапрыкин А.Н., Кузнецов А.С., Пузанов В.П., Фролов Ю.А. Комбинированное окомкование агломерационной шихты в аппаратах барабанного типа и тарельчатых грануляторах. Сталь. 2009. № 8. С. 2–7.

17. Бочка В.В., Двоглазова А.В., Сова А.В., Бочка Р.С., Бойко М.М. Оцінка ефективності використання комплексного флюсу при спіканні агломерату. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2017. № 3. С. 9–14.

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Карпенко Олександр Андрійович

Автор

Науковий керівник / Експерт

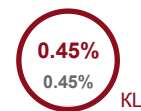
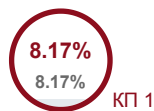
Карпенко Олександр Андрійович Чупринов Є.В.

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

6267

Кількість слів

45501

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	16
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	Б	0
Парафрази (SmartMarks)	a	33

## 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)	229 3.65 %
2	Щербак Ігор Сергійович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	49 0.78 %

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Студента Карпенка Олександра Андрійовича  
(прізвище, ім'я та по-батькові)  
групи ЗМЧМ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Дослідження способу подачі, крупності та типу  
твердого палива на хід агломераційного процесу

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>52</u>
таблиць	<u>4;</u>
схем і рисунків	<u>11;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>7.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра  
(бакалавра, магістра)

Досліджено, як крупність палива (0-0,4 мм; 0,4-1,0 мм; 1,0-2,5 мм; 2,5-3 мм) впливає на оптимальну вологість аглошихти, газопроникність шару та динаміку спікання в лабораторних умовах. Встановлено, що зі зменшенням крупності палива зростає оптимальна вологість шихти та знижується її початкова газопроникність. Виявлено, що крупність палива суттєво впливає на динаміку зміни газопроникності шару під час спікання, а також на розміри зони горіння та сушіння. Оптимальні температури в шарі та найкращі показники виходу придатного агломерату і титомої продуктивності спостерігаються при використанні фракцій коксу 0,4-1 мм та 1-2,5 мм. Показано, що подача 100% палива наприкінці огрудкування верхнього шару знижує витрату палива, але також і продуктивність. Найкращі результати (збільшення продуктивності, покращення міцності агломерату, зниження витрати палива) досягаються при подачі палива наприкінці огрудкування кожного шару, а особливо нижнього шару.

**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 Карпенко О.А. 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**

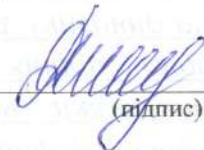
Керівник \_\_\_\_\_

Кассім Дар'я Олександрівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

професор, д.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 07 » 06 2025 р.

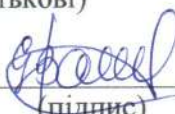
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра металургійних технологій

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ бакалавра  
(бакалавра, магістра)  
Студента(ки) \_\_\_\_\_ Карпенка Олександра Андрійовича  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи	
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження способу подачі, крупності та типу твердого палива на хід агломераційного процесу</u>	
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
Поліпшення показників роботи агломераційної машини за рахунок подачі палива наприкінці огрудкування шихти	
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b>	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Робота направлена на вирішення актуального питання впливу характеристик агломераційного палива на хід процесу та можливостей підвищення ефективності роботи сучасних аглофабрик</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 способу податі, крутості та типу твердого  
напівкільця кіг атмосферно-технічного процесу»,  
(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Карпенко Олександр Андрійович

(ПІБ)

каф. механічних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 52 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом  
«StickePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 91,83%.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до

захисту в РК на засіданні  
(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

Каф. механічних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

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

Керівник підрозділу

  
(підпис)

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, Карпенко Олександр Андрійович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Дослідження впливу неспівкритичності та типу зварювального напруги на хімічно-аналітичний процес» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) незгодовану 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

  
\_\_\_\_\_

Карпенко О.А.  
(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ДОВІДКА**

про підготовку студента-випускника

Карпенка Олександра Андрійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної  
роботи магістра

Дослідження способу подачі, крупності та типу  
твердого палива на хід агломераційного процесу

Керівник кваліфікаційної роботи:

професор, д.т.н., Кассім Д.О.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту ( роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Кассім Д.О.	зарах	07.06		
2	Основна частина	Кассім Д.О.	зарах	07.06		
3	Охорона праці	Кассім Д.О.	зарах	07.06		

Завідувач кафедри

  
(підпис)

Д.О. Кассім

(ініціали, прізвище)

« 07 » 06 20<sup>25</sup> р.