

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АГЛОМЕРАЦІЇ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ВНУТРІШНЬОГО  
ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ КАРТИНИ ПО ВИСОТІ ШАРУ

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Чупринов Є.В. | канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8605-3434">https://orcid.org/0000-0001-8605-3434</a> , e-mail: <a href="mailto:itchupa@gmail.com">itchupa@gmail.com</a> ;             |
| Кассім Д.О.   | д-р техн. наук, професор, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-1750-1237">https://orcid.org/0000-0002-1750-1237</a> , e-mail: <a href="mailto:kassim@duet.edu.ua">kassim@duet.edu.ua</a> ;           |
| Ляхова І.А.   | канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7589-8351">https://orcid.org/0000-0001-7589-8351</a> , e-mail: <a href="mailto:liakhova_ia@duet.edu.ua">liakhova_ia@duet.edu.ua</a> ; |
| Зайцев Г.Л.   | канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7909-9044">https://orcid.org/0000-0002-7909-9044</a> , e-mail: <a href="mailto:zaitsev@duet.edu.ua">zaitsev@duet.edu.ua</a> ;         |
| Реков Ю.В.    | канд. техн. наук, доцент, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТИНБЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-0318-0168">https://orcid.org/0009-0006-0318-0168</a> , e-mail: <a href="mailto:yuriy.rekov@mipolytech.education">yuriy.rekov@mipolytech.education</a>                        |

Виконаний аналіз вітчизняних і закордонних досліджень, які підтверджують неоднорідність розподілу теплоти в шарі агломераційної шихти. Проведена оцінка попередніх досліджень авторів, зроблений висновок, що потенціал подальших досліджень у цьому напрямку залишається значним. Досліджено вплив крупності та реакційної здатності твердого палива на процес агломерації залізорудної шихти. Експерименти проводилися в лабораторних умовах з використанням аглочаши діаметром 100 мм і висотою шару 300 мм. Методика передбачала роздільне введення палива у верхній та нижній шари шихти з метою оптимізації теплового режиму. Використано два види палива: високореакційне (коковий дріб'язок, CRI > 37%) та низькореакційне (антрацит, CRI < 37%). Додатково в шихту вводили пиловату фракцію (0-1 мм) для забезпечення внутрішнього джерела теплоти. Результати показали, що оптимальні показники досягаються при використанні високореакційного палива у верхньому шарі та низькореакційного у нижньому. Це дозволило підвищити продуктивність аглочаши з 1,15 до 1,46-1,48 т/м<sup>2</sup>·год, знизити витрату вуглецю з 52,3 до 50,8-51,3 кг/т, покращити міцність агломерату, зменшити вміст дріб'язку та залишкового вуглецю, а також підвищити вміст заліза.

**Ключові слова:** агломерат, тверде паливо, реакційна здатність, питома продуктивність, міцність.

### Постановка проблеми

Технологія отримання залізорудного агломерату на українських аглофабриках передбачає завантаження шихти єдиним шаром середньої висоти близько 400 мм. В той час, багато досліджень і реальний промисловий досвід підтверджують суттєві недоліки такого методу, які полягають у недосконалої тепловій картини по висоті шару, що погіршує властивості готової продукції та знижує продуктивність агломашин.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як вітчизняні [1, 2], так і зарубіжні науковці [3-5] відзначають той факт, що верхній і нижній горизонти шару отримують різну кількість теплоти від згоряння в шарі твердого палива. Дослідження [6-10] показали, що верхньому шару не вистачає до 50% необхідної теплоти, в той же час нижній отримує до 70 % надлишкової теплоти. В попередніх роботах [11-13] авторів даної статті запропоновані технологічні рішення, які дозволяють вирішити дану проблему шляхом оптимізації параметрів спікання. Тим не менше, не всі можливості в цьому напрямку досліджені, а додаткова

технологічна варіативність стане корисною для українських агломераційних фабрик, що знаходяться в пошуку оптимальних технологічних умов.

### Мета статті

Виконати дослідження та запропонувати технологічні рекомендації щодо спікання агломераційної шихти для покращення якості продукту і підвищення продуктивності процесу.

### Виклад основного матеріалу

Методикою проведення роботи передбачалося, що кількість та фізико-хімічні характеристики залізорудної та флюсової складової у верхньому та нижньому шарах аглошихти у всіх випробуваннях були постійними.

Хімічний склад та теплотехнічні характеристики використовуваних твердих палив у шарах аглошихти також не змінювалися. Реакційна здатність кожного з видів палив у верхньому та нижньому шарах змінювалася у вузькому діапазоні значень. В якості палива з низькою реакційною здатністю використовували антрацит, а з високою реакційною здатністю – коковий дріб'язок.

Для проведення досліджень попередньо здійснювали підготовку двох видів твердого палива необхідної крупності: високореакційного ( $CRI > 37\%$ ) крупністю 0-5,0 мм і низькореакційного ( $CRI < 37\%$ ) крупністю 0-2,5 мм. Потім з кожного виду палива виділяли фракції 0-1,0 мм і їх змішували. Це дрібне паливо заочувалося всередину грудок шихти і служило внутрішнім джерелом теплоти при її спіканні. Введення у вихідну шихту виділеної пилюватої фракції крупністю (0-1 мм) з використанням палива, замість палива крупністю 0-3 мм, виключало її потрапляння в нижню частину шару, винесення з шару газовим потоком і збільшення швидкості вигорання всередині грудок шихти.

Для змішування шихти використовували лабораторний шнековий змішувач (рис. 1), огрудкування аглошихти відбувалось в лабораторному барабанному огрудкувачі (рис. 2), а спікання проводили паралельно в чотирьох аглошашах діаметром 100 мм і висотою шару, що спікається 300 мм (рис. 3).



Рис. 1 – Шнековий змішувач



Рис. 2 – Барабанний огрудкувач

У процесі укладання цієї шихти у верхню половину шару, що спікається, вводили додатково вуглець у вигляді твердого палива з високою реакційною здатністю ( $CRI > 37\%$ ) крупністю 1-5,0 мм, в якому вміст фракції 2-5 мм становив 75-95%.



Рис. 3 – Лабораторна агломераційна установка

Збільшення крупності високореакційного палива дозволило, не знижуючи часу його вигорання, збільшити локальне виділення теплоти та підвищення температури у цій частині шару. У нижню половину шару, що спікається, вводили вуглець у вигляді твердого палива з низькою реакційною здатністю ( $CRI < 37\%$ ) крупністю 1,0-2,5 мм.

Питома витрата вуглецю, введенного паливом з різною реакційною здатністю і крупністю у вихідну шихту, у верхню і нижню половини шару, відповідала сумарному розрахунковому значенню питомого вмісту вуглецю в шарі, що спікається, що забезпечувало при згорянні виділення необхідної кількості теплоти.

Введення високореакційного більш крупного (1,0-5,0 мм) палива у верхню половину шару дозволило отримати необхідну температуру і необхідну кількість теплоти за рахунок локалізації вогнищ горіння між грудками шихти. В результаті, здійснювалося якісне спікання шихти в цій частині шару до моменту різкого охолодження отриманого агломерату холодним повітрям, що просмоктується.

За рахунок більшого часу перебування нижньої половини шару в зоні максимальних температур, використання теплоти, рекуперованої теплоносієм у верхній частині шару, та знаходження в цій частині шару відносно дрібного (1,0-2,5 мм) низькореакційного палива, забезпечується підтримка необхідних температур для якісного спікання агломерату. Крім того, відсутність незначеного в шихту пилюватої (0-1,0 мм) палива також виключає його втрати та сприяє повному вигоранню решти палива та максимальному виділенню теплоти.

Результати випробувань (див. таблицю) показують, що оптимальні показники відповідають дослідом 2 і 3 з рекомендованим місцем введення і крупністю твердого палива в шихту, а також у верхній і нижній половинах шару шихти, котрі містять тверде паливо з високою ( $CRI > 37\%$ ) і низькою ( $CRI < 37\%$ ) реакційною здатністю.

Таблиця

Вплив гранулометричного складу та реакційної здатності палива в шарах аглошихти  
на показники спікання та характеристики одержуваного агломерату

| Періоди випробувань | Питома продуктивність, т/м <sup>2</sup> ·год | Загальна питома витрата вуглецю, кг/т агломерату | Крупність палива в шихті, мм | Кількість вуглецю в шихті, % | Крупність палива, що вводиться в шари, мм | Кількість введенного у верхній шар палива фракції 2-5 мм, % | Вміст залишкового вуглецю в агломераті, % |
|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Базовий:            | 1,15                                         | 52,3                                             | 0 – 3,0                      | 4,36                         | 0 – 3,0                                   | 100,0                                                       | 1,8                                       |
| верх шару           |                                              |                                                  | 0 – 3,0                      |                              | 0 – 3,0                                   | 100,0                                                       | 3,1                                       |
| низ шару            |                                              |                                                  | 0 – 3,0                      |                              | 0 – 3,0                                   | 100,0                                                       | 0,5                                       |
| Дослідний 1:        | 1,34                                         | 52,4                                             | 0 – 1,0                      | 4,37                         |                                           |                                                             | 0,4                                       |
| верх шару*          |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 5,0                                 | 71,3                                                        | 0,5                                       |
| низ шару            |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 2,5                                 | 100,0                                                       | 0,3                                       |
| Дослідний 2:        | 1,46                                         | 51,3                                             | 0 – 1,0                      | 4,27                         |                                           |                                                             | 0,1                                       |
| верх шару           |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 5,0                                 | 75,9                                                        | 0,1                                       |
| низ шару            |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 2,5                                 | 100,0                                                       | 0                                         |
| Дослідний 3:        | 1,48                                         | 50,8                                             | 0 – 1,0                      | 4,23                         |                                           |                                                             | 0,1                                       |
| верх шару           |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 5,0                                 | 96,1                                                        | 0                                         |
| низ шару            |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 2,5                                 | 100,0                                                       | 0,1                                       |
| Дослідний 4:        | 1,37                                         | 52,9                                             | 0 – 1,0                      | 4,41                         |                                           |                                                             | 0,6                                       |
| верх шару           |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 5,0                                 | 98,2                                                        | 0,8                                       |
| низ шару            |                                              |                                                  | 0 – 1,0                      |                              | 1,0 – 2,5                                 | 100,0                                                       | 0,2                                       |

Продовження таблиці

| Періоди випробувань | Вміст залишкового вуглецю в агломераті, % | Вміст дріб'язку 0-5 мм в агломераті, % | Барабанне випробування, % |                        | Вміст в агломераті, % |      |                   |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|------|-------------------|
|                     |                                           |                                        | міцність на удар (+5 мм)  | стиранність (0-0,5 мм) | Fe <sub>заг</sub>     | FeO  | основність, д.од. |
| Базовий:            | 1,8                                       | 8,3                                    | 63,4                      | 7,1                    | 53,6                  | 11,7 | 1,28              |
| верх шару           | 3,1                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| низ шару            | 0,5                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| Дослідний 1:        | 0,4                                       | 8,1                                    | 63,5                      | 7,3                    | 53,4                  | 11,5 | 1,29              |
| верх шару*          | 0,5                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| низ шару            | 0,3                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| Дослідний 2:        | 0,1                                       | 7,3                                    | 65,6                      | 6,4                    | 53,8                  | 11,9 | 1,27              |
| верх шару           | 0,1                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| низ шару            | 0                                         |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| Дослідний 3:        | 0,1                                       | 6,4                                    | 66,1                      | 5,7                    | 53,9                  | 11,3 | 1,25              |
| верх шару           | 0                                         |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| низ шару            | 0,1                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| Дослідний 4:        | 0,6                                       | 7,8                                    | 62,9                      | 6,9                    | 53,3                  | 11,4 | 1,26              |
| верх шару           | 0,8                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |
| низ шару            | 0,2                                       |                                        |                           |                        |                       |      |                   |

\* верх шару – високореакційне паливо (CRI &gt; 37%), низ шару – низькореакційне паливо (CRI &lt; 37%)

Реалізація розробленої технології може бути здійснена в діючих цехах без складної реконструкції та з мінімальними капіталовкладеннями. Технологічний режим буде здійснюватись наступним чином. Спочатку буде виконуватись підготовка необхідні фракції двох видів твердого палива: високореакційного ( $CRI > 37\%$ ) крупністю 0-5,0 мм і низькореакційного ( $CRI < 37\%$ ) крупністю 0-2,5 мм. Потім з кожного виду палива шляхом просіювання відокремлюються фракції 0-1,0 мм, які потім змішуються. У відділенні дозування згідно з виконаним розрахунком дозуються залізисті (аглоїда, концентрат, колошниковий пил, металургійні шлами, прокатна окалина та ін.) матеріали, флюси і усе відсієне пилувате паливо у кількості 5-45% від розрахункової кількості загальної питомої витрати вуглецю, який вноситься твердим паливом. Аглоїда змішується, огрудується та укладається на візки аглоїдини завантажувальним пристроєм і укладальником. Над укладальником шихти на палети аглоїдини встановлюються два бункери. У перший по ходу аглоїдини бункер завантажувється низькореакційне паливо крупністю 1,0-2,5 мм, з якого воно дозується на укладальник і подається в огрудовану шихту в кількості, що забезпечує отримання цим шаром необхідної кількості теплоти. У другий по ходу аглоїдини бункер завантажувється високореакційне паливо крупністю 1,0-5,0 мм, в якому повинно міститися 75-95% фракції 2,0-5,0 мм. З цього бункера паливо дозується на укладальник і подається в отриману окомковану шихту в кількості, що також забезпечує отримання цим шаром необхідної кількості теплоти. Спікання шару аглоїди на аглоїдині і обробка готового агломерату здійснюються за прийнятою технологією без жодних змін.

### Висновки

1. Виконаний літературний огляд показав недоліки сучасної технології агломерації, що застосовується на українських металургійних підприємствах. Показано, що верхньому шару не вистачає до 50% необхідної теплоти, в той же час нижній отримує до 70% надлишкової теплоти. Відмічені технологічні рішення, які дозволяють вирішити дану проблему шляхом оптимізації параметрів спікання. Тим не менше, не всі можливості в цьому напрямку досліджені, а додаткова технологічна варіативність стане корисною для українських агломераційних фабрик, що знаходяться в пошуку оптимальних технологічних умов.

2. Розроблена технологія спікання, яка передбачає введення твердого палива з будь-якою реакційною здатністю крупністю 0-1,0 мм в кількості 5-45%, а в процесі укладання огрудованої шихти на візки для спікання в неї додатково вводять у верхній і нижній шари шихти тверде паливо з різною реакційною здатністю, розподіляючи його між гранулами шихти, причому спочатку укладають нижню половину шару шихти, в яку вводять тверде паливо з низькою реакційною здатністю ( $CRI < 37\%$ ) крупністю 1,0-2,5 мм, а потім

укладають верхню половину спікаючого шару окомкованої шихти, в яку вводять тверде паливо з високою реакційною здатністю ( $CRI > 37\%$ ) крупністю 1,0-5,0 мм, в якому кількість фракції 2,0-5,0 мм повинна бути 85-95%, причому сумарна питома витрата вуглецю, введенного паливом з різною реакційною здатністю та крупністю в різні ділянки шару відповідає сумарному розрахунковому значенню, що забезпечує при його згорянні виділення необхідної кількості теплоти і максимальну температуру в спікаючому шарі.

3. Розроблена технологія дозволила підвищити питому продуктивність аглоїди з 1,15 до 1,46-1,48 т/м<sup>2</sup>·год, знизити питому витрату вуглецю твердого палива з 52,3 до 50,8-51,3 кг/т, покращити характеристики міцності агломерату, знизити вміст дріб'язку в агломераті з 8,3 до 6,4-7,3%, зменшити вміст залишкового вуглецю до 0,05%, а також підвищити вміст заліза до 53,8-53,9%.

4. Описана схема реалізації розробленої технології спікання агломерату, яка не передбачає суттєвої реконструкції в діючих аглоїдах та може бути реалізована з мінімальними капіталовкладеннями.

### Перелік використаних джерел

- [1] Сигов В.А., Шурхал В.А. Агломерационный процесс. К. : Техника, 1969. 232 с.
- [2] Хлапонин Н.С., Кривошеев В.Н., Андронов В.В. О двухслойном спекании аглоїди. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1967. № 4. С. 8-10.
- [3] Pahlevaninezhad M., Emanmi M.D., Panjepour M. The effects of kinetic parameters on combustion characteristics in a sintering bed. *Energy*. 2014. Vol. 73. Pp. 160-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.003>.
- [4] Ramos M.V., Kasai E. Numerical Simulation Model of the Iron Ore Sintering Process Directly Describing the Agglomeration Phenomenon of Granules in the Packed Bed. *The Journal of the Iron and Steel Institute of Japan International*. 2000, Vol. 40. № 5. Pp. 448-454. DOI: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.40.448>.
- [5] Optimisation model of fuel distribution in materials bed of iron ore sintering process / X.X. Huang et al. *Ironmaking & Steelmaking*. 2018. Vol. 46. Pp. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1080/03019233.2018.1440160>.
- [6] Lovel R.R., Vining K.R., Dell'amico M. The Influence of Fuel Reactivity on Iron Ore Sintering. *The Journal of the Iron and Steel Institute of Japan International*. 2009. Vol. 49, no. 2. Pp. 195-202. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.49.195>.
- [7] Guan X., Liu S. Particle swarm algorithm based on simulated annealing to solve constrained optimization. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*. 2007. Vol. 37. Pp. 136-140.

- [8] Fuel appropriate distribution in iron ore sintering / Z. Huang et al. *Journal of Central South University (Science and Technology)*. 2006. Vol. 37. Pp. 884-890. Pp. 182-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2013.11.012>.
- [9] Hou P., Choi S., Choi E. Improved distribution of fuel particles in iron ore sintering process. *Ironmaking & Steelmaking*. 2011. Vol. 38. Pp. 379-385. DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/1743281211Y.0000000017>.
- [10] An intelligent integrated optimization system for the proportioning of iron ore in a sintering process / M. Wu et al. *Journal of Process Control*. 2014. Vol. 24.
- [11] Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів: пат. 78006 Україна: С22В 1/16. № 201208002; заявл. 27.06.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. 4 с.
- [12] Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів: пат. 78007 Україна: С22В 1/16. № 201208003; заявл. 27.06.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. 4 с.
- [13] Спосіб агломерації залізовмісних матеріалів: пат. 78893 Україна: С22В 1/16. № 201208734; заявл. 16.07.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7. 3 с.

## RESEARCH OF THE AGGLOMERATION PROCESS WHILE PROVIDING AN INTERNAL HEAT SOURCE AND OPTIMIZATION OF THE THERMAL PATTERN ALONG THE HEIGHT OF THE LAYER

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Chuprynov Ye.V.</b> | PhD (Engineering), associate professor, Technological institute of State university of economics and technology, Kryvyi Rih, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8605-3434">https://orcid.org/0000-0001-8605-3434</a> , e-mail: <a href="mailto:itchupa@gmail.com">itchupa@gmail.com</a> ;             |
| <b>Kassim D.O.</b>     | D.Sc. (Engineering), professor, Technological institute of State university of economics and technology, Kryvyi Rih, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-1750-1237">https://orcid.org/0000-0002-1750-1237</a> , e-mail: <a href="mailto:kassim@duet.edu.ua">kassim@duet.edu.ua</a> ;                   |
| <b>Liakhova I.A.</b>   | PhD (Engineering), associate professor, Technological institute of State university of economics and technology, Kryvyi Rih, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7589-8351">https://orcid.org/0000-0001-7589-8351</a> , e-mail: <a href="mailto:liakhova_ia@duet.edu.ua">liakhova_ia@duet.edu.ua</a> ; |
| <b>Zaitsev G.L.</b>    | PhD (Engineering), associate professor, Technological institute of State university of economics and technology, Kryvyi Rih, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7909-9044">https://orcid.org/0000-0002-7909-9044</a> , e-mail: <a href="mailto:zaitsev@duet.edu.ua">zaitsev@duet.edu.ua</a> ;         |
| <b>Rekov Yu.V.</b>     | PhD (Engineering), associate professor, «TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» LLC, Zaporizhzhia, ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-0318-0168">https://orcid.org/0009-0006-0318-0168</a> , e-mail: <a href="mailto:yuriy.rekov@mipolytech.education">yuriy.rekov@mipolytech.education</a>     |

An analysis of domestic and foreign studies has been performed, which confirm the heterogeneity of heat distribution in the sintering charge layer. There is a differentiation of thermal impact on the upper and lower horizons of the layer, which is due to the uneven combustion of solid fuel. An assessment of the authors' previous studies has been carried out, and it has been concluded that the potential for further research in this direction remains significant. The expansion of technological variability can contribute to the development of optimal technological regimes for Ukrainian sintering plants that seek to increase production efficiency. The influence of the size and reactivity of solid fuel on the process of sintering of iron ore charge was investigated. The experiments were conducted in laboratory conditions using sintering bowls with a diameter of 100 mm and a layer height of 300 mm. The method involved separate fuel injection into the upper and lower layers of the charge in order to optimize the thermal regime. Two types of fuel were used: highly reactive (coke fines, CRI > 37%) and low-reactive (anthracite, CRI < 37%). For the upper layer, highly reactive fuel with a size of 1-5 mm was used, and for the lower layer, low-reactive fuel with a size of 1-2.5 mm. Additionally, a dusty fraction (0-1 mm) was introduced into the charge to provide an internal heat source. The results showed that optimal performance is achieved when using highly reactive fuel in the upper layer and low-reactive fuel in the lower layer. This allowed to increase the productivity of the sintering bowl from 1.15 to 1.46-1.48 t/m<sup>2</sup>·h, reduce carbon consumption from 52.3 to 50.8-51.3 kg/t, improve the strength of the sinter, reduce the content of fines and residual carbon, and also increase the iron content. The developed technology allows to effectively regulate the thermal regime in the charge layer, ensuring high-quality sintering and improving the characteristics of the sinter.

**Keywords:** agglomerate, solid fuel, reactivity, specific productivity, strength.

## References

- [1] V.A. Sigov, and V.A. Shurkhal, *Aglomeracionnyj process* [Sintering process]. Kyiv, Ukraine: Technology Publ., 1969. (Rus.)
- [2] N.S. Khlaponin, V.N. Krivosheev, and V.V. Andronov, «O dvuhslojnom spekanii agloshihity» [«About two-layer sintering of sinter charge»], *Metallurhicheskaia y hornorudnaia promishlennost – Metallurgical and mining industry*, 1967, no. 4, pp. 8-10, 1967. (Rus.)
- [3] M. Pahlevaninezhad, M.D. Emanmi, and M. Panjepour, «The effects of kinetic parameters on combustion characteristics in a sintering bed», *Energy*, vol. 73, pp. 160-176, 2014. doi: **10.1016/j.energy.2014.06.003**.
- [4] M.V. Ramos, and E. Kasai, «Numerical Simulation Model of the Iron Ore Sinter-ing Process Directly Describing the Agglomeration Phenomenon of Granules in the Packed Bed», *The Journal of the Iron and Steel Institute of Japan International*, vol. 40, №5, pp. 448-454, 2000. doi: **10.2355/isijinternational.40.448**.
- [5] X.X. Huang, X.H. Fan, X.L. Chen, X.Z. Zhao, and M. Gan, «Optimisation model of fuel distribution in materials bed of iron ore sintering process», *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 46, pp. 1-7, 2018. doi: **10.1080/03019233.2018.1440160**.
- [6] R.R. Lovel, K.R. Vining, and M. Dell'amico, «The Influence of Fuel Reactivity on Iron Ore Sintering», *The Iron and Steel Institute of Japan International*, vol. 49, no. 2, pp. 195–202, 2009. URL: doi: **10.2355/isijinternational.49.195**.
- [7] X. Guan, and S. Liu, «Particle swarm algorithm based on simulated annealing to solve constrained optimization», *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, vol. 37, pp. 136-140, 2007.
- [8] Z. Huang, Y. Jiang, X. Mao, B. Xu, Y. Guo, and T. Jiang, «Fuel appropriate distribution in iron ore sintering», *Journal of Central South University (Science and Technology)*, vol. 37, pp. 884-890, 2006.
- [9] P. Hou, S. Choi, and E. Choi, «Improved distribution of fuel particles in iron ore sintering process», *Iron-making & Steelmaking*, vol. 38, pp. 379-385, 2011. doi: **10.1179/1743281211Y.0000000017**.
- [10] M. Wu, X. Chen, W. Cao, J. She, and C. Wang, «An intelligent integrated optimization system for the proportioning of iron ore in a sintering process», *Journal of Process Control*, vol. 24, pp. 182-202, 2014. doi: **10.1016/j.jprocont.2013.11.012**.
- [11] F.M. Zhuravlev et al., «Sposib ahlomeratsii zalizovmisnykh materialiv» [«Method of agglomeration of iron-containing materials»], UA Patent Appl. 201208002, Nov. 03, 2013.
- [12] F.M. Zhuravlev et al., «Sposib ahlomeratsii zalizovmisnykh materialiv» [«Method of agglomeration of iron-containing materials»], UA Patent Appl. 201208003, Nov. 03, 2013.
- [13] F.M. Zhuravlev et al., «Sposib ahlomeratsii zalizovmisnykh materialiv» [«Method of agglomeration of iron-containing materials»], UA Patent Appl. 201208734, Oct. 04, 2013.

Стаття надійшла 26.02.2025

Стаття прийнята 14.03.2025

Стаття опублікована 30.06.2025

**Цитуйте цю статтю як:** Дослідження процесу агломерації при забезпеченні внутрішнього джерела теплоти та оптимізації теплової картини по висоті шару / Є.В. Чупринов та ін. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 50. С. 111–116. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336311>.