

визначення «матриці» необхідно здійснити декілька операцій: визначити число ієрархічних рівней системи; визначити гіперкомплексність (число різнорідних елементів) системи; встановити наявність та напрямок взаємозв'язків між елементами системи. Гіперкомплексні матриці мають високу узагальнюючу властивість порівняно з матрицями інших системних методів, що свідчить про високу інформаційну насиченість її символіки. Це дає можливість використовувати ГДС для аналізу поведінки великих промислових систем, зокрема і металургійного виробництва.

Напрямок подальших досліджень полягає в застосуванні теорії ГДС у розробці комп'ютерних програм металургійного виробництва.

Перелік посилань

1 Прокопенко Т. О. Теорія систем і системний аналіз: навч. посібник. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 139 с.

2 Тубольцев Л. Г. Бабаченко О.І., Меркулов О.Є. Концепція сталого розвитку чорної металургії України в сучасних умовах. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. Вип 36. 2022. С.4-21.

УДК 669.788

О. Ю. Худяков¹, С. В. Ващенко¹, К. В. Баюл¹, М. М. Бойко², Н. В. Полякова²

¹Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ (ІЧМ), Дніпро

²Український державний університет науки і технологій, Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТНОГО ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ШИХТ НА УЩІЛЬНЮВАНІСТЬ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ БРИКЕТІВ

Актуальним завданням сучасної чорної металургії є підвищення ступеня декарбонізації основних технологічних переділів. Для зменшення вуглецевого сліду при підготовці металургійної сировини необхідно розвивати безвипалювальні методи окусування, зокрема брикетування. Від щільності пресовки залежить комплекс технологічних характеристик кінцевого продукту, насамперед «холодна» та «гаряча» міцність.

В лабораторних умовах досліджено залежність ущільнюваності металургійних шихт від компонентного та гранулометричного складу. Для кількісної оцінки та порів-

няння характеристик ущільнення було розроблено новий показник ущільнюваності подрібнених матеріалів — коефіцієнт інтенсивності ущільнення, що визначається як $a = \frac{d \ln(\rho_s^2 - \rho^2)}{d\sqrt{P}}$, де ρ , ρ_s – істинна щільність матеріалу та щільність пресовки, відповідно, г/см³, P – тиск пресування, МПа [1].

За допомогою нелінійного регресійного аналізу та методів теорії планування експерименту виконаний математичний опис залежності коефіцієнта ущільнення a від кількості вуглецевмісного компонента $X_1 \in [10 \div 90 \text{ \%}]$ і середнього розміру частинок залізо- та вуглецевмісного компонентів у шихті $X_2, X_3 \in [1 \div 4 \text{ мм}]$. Верхня межа тиску пресування при виробництві пресовок складала 220 МПа.

Отримано поліноміальну математичну модель для визначення залежності ущільнення металургійних шихт від вмісту і крупності залізо- та вуглецевмісних матеріалів:

$$a = 0,0565 - 0,0086X_1 + 0,0049X_2 + 0,0073X_3 - 0,0145X_1X_2 + 0,0037X_1X_3 - 0,0077X_2X_3 + 0,0393X_1^2 - 0,0006X_2^2 + 0,0038X_3^2 \quad (1)$$

Величина критерію Кохрена для моделі складала $G_{розр} = 0,2468 < G^{0.05}_{табл} = 0,9669$. Критерій Фішера має значення що $F_{розр} = 3,4 < F^{0.05}_{табл} = 3,9$. Таким чином, відтворюваність процесу та адекватність модель доведені на рівні значимості $\alpha = 0,05$. Середня помилка моделі знаходиться в межах прийняттого діапазону точності ($\bar{A} < 8 \dots 10 \text{ \%}$) і становить 7,9 %.

На рис. 1а) – 1в) проілюстровано локальні екстремуми моделі на двомірних перетинах поверхні функції відгуку. Кожне із зображень характеризує ущільнюваність шихтової суміші щодо пари факторів, відкладених по осях абсцис та ординат, при фіксації третього фактора на нульовому рівні.

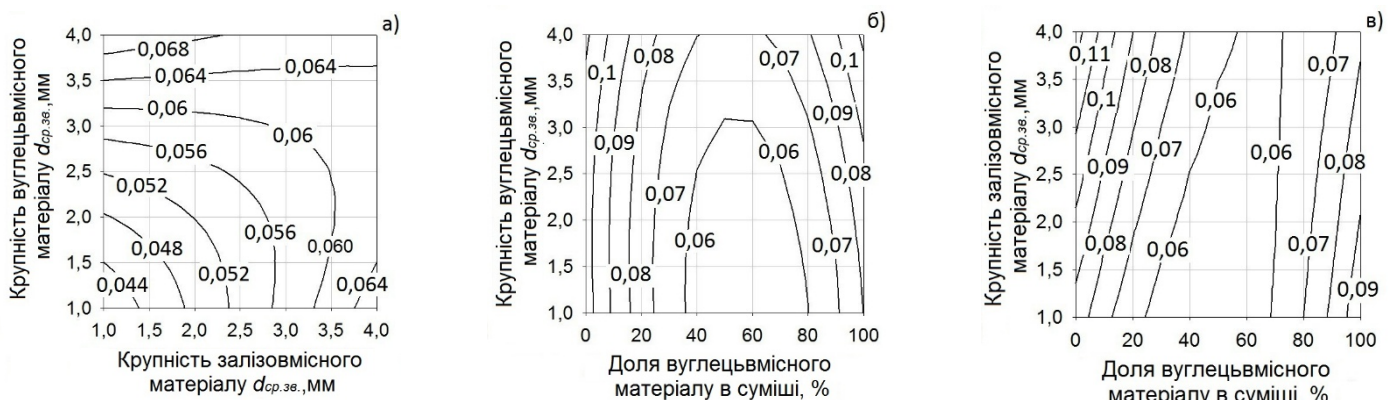


Рисунок 1. Ущільнюваність шихт при: а) рівних частках залізо- та вуглецевмісних матеріалів у суміші; б) крупності залізовмісного матеріалу $d_{cp.ze} = 2,5$ мм; в) крупності вуглецевмісного матеріалу $d_{cp.ze} = 2,5$ мм.

Для визначення глобальних екстремумів були сформульовані та вирішені оптимізаційні задачі на пошук мінімуму та максимуму ущільнюваності шихтової суміші при

обмеженні факторів: $-1 \leq x_i \leq 1$. Вирішення оптимізаційних завдань виконали з використанням методу невизначених множників Лагранжа:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x_1} = -0,0086 - 0,0145x_2 + 0,0037x_3 + 0,0786x_1 + 2\lambda x_1 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial x_2} = 0,0049 - 0,0145x_1 - 0,0077x_3 - 0,0012x_2 + 2\lambda x_2 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial x_3} = 0,0073 + 0,0037x_1 - 0,0077x_2 + 0,0076x_3 + 2\lambda x_3 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - R^2 = 0. \end{cases}$$

(2)

Для вирішення системи рівнянь (2) та обчислення значень функції відгуку розробленої моделі використовували програмний пакет Mathematica 10, проводячи розрахунки за зміни радіусу сфери R від 0 до 1.

Отримані результати дозволили формулювати технологічні рекомендації для процесу виробництва двокомпонентних залізовуглецевмісних брикетів: найбільша ущільнюваність шихтової суміші може бути досягнута при максимальній крупності матеріалів і не менш ніж 80% вмісту одного з компонентів, а найменша ущільнюваність шихти - при мінімальній крупності матеріалів і приблизно рівному вмісту компонентів в суміші.

Список літератури

1. Khudyakov A. Yu. New method for predicting the compactability of charges made from fine materials of the mining and smelting industry / A.Yu. Khudyakov, S.V. Vashchenko, K.V. Baiul et al.// Metallurgist. – 2022- Vol. 65, Nos. 9-10–P.941-951.

УДК 330.34(477).669

В.І. Шатоха, М.В. Ягольник, М.О. Фурсов

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), м. Дніпро

СЦЕНАРІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Чорна металургія є другою за обсягом споживання енергії та першою за рівнем викидів діоксиду вуглецю промисловою галуззю у світі [1]. Тому досягнення глобальних завдань зі скорочення викидів парникових газів з метою запобігання зміни клімату є неможливим без суттєвої технологічної трансформації даної галузі та припинення неконтрольованого зростання виробництва та споживання сталі у світі. Разом із тим