

Старовойт А.Г., Сорокін Є.Л., Шумейко Т.О

Аналітичне визначення раціональної кількості слабоспівливого вугілля марки ДГ в шихті для одержання коксу заданих властивостей.

Starovoit A.G., Sorokin E.L., Shumeiko T.O.

Analytical determination of the rational amount of low-alumina coal of grade DG in the charge for coke production the specified properties

В даній роботі розглянуті математичні розрахунки по вивченню оптимально вмісту фракцій слабоспівливого вугілля певної густини, що входить до складу вугільної шихти для коксування. Представлені методи математичних розрахунків, які проводили за допомогою методу ПФЕ 2² та ЦКОП. В результаті аналізу авторами було встановлено, що головними факторами, які впливають на якісні показники кінцевого продукту, є гранулометричний склад і ступінь його метаморфізму. На основі проведених розрахунків авторами встановлено, що отримані лінійні моделі ПФЕ 2² являються не адекватними, та не є прийнятними для подальшого їх використання. Таким чином стаття присвячується детальному вивченню математичних розрахунків, а саме рівнянням регресії та поверхням відгуку, що отримані за допомогою методу ЦКОП, що показали в якій оптимальній кількості можна використовувати фракцію слабо співливого вугілля для отримання коксу необхідної якості.

Ключові слова: слабоспівливе вугілля, фракція, піроліз, статистичний аналіз, поверхні відгуку, рівняння регресії.

In this paper we consider mathematical calculations for the study of optimal content of fractions of weakly-coagulated coal of a certain density, which is part of the coal charge for coking. The methods of mathematical calculations, which were carried out with the help of the method of PFE 22 and TSKOP, are presented. As a result of the analysis, the authors found that the main factors that affect the quality of the final product are the granulometric composition and the degree of its metamorphism. On the basis of the calculations, the authors found that the obtained linear models of PFE 22 are inadequate and are not acceptable for their further use. In this way, the article is devoted to a detailed study of mathematical calculations, namely, the regression equation and response surfaces obtained with the help of the TSKOP method, which showed in which optimum quantity it is possible to use a fraction of poorly sparing coal to produce the required quality coke.

Keywords: weakly conjugated coal, fraction, pyrolysis, statistical analysis, response surface, regression equation.

Для ефективного використання кам'яного вугілля, а також для розширення сировинної бази коксування необхідно розробляти методи, що дозволяють цілеспрямовано регулювати їх властивості [1].

Раніше було зазначено [2, 3], що домішка фракції слабоспівливого вугілля, що додається до вугільної шихти впливає на показники якості отриманого твердого вуглецевого залишку. Отже, для визначення складу вугільних шихт необхідно проаналізувати взаємодії компонентів суміші на всіх стадіях термічних перетворень і встановити визначальні фактори, що впливають на формування необхідних властивостей коксу.

Для розрахунку складу вугільних шихт, що містять в своєму складі як один з компонентів, певну фракцію слабоспівливого вугілля марки ДГ використали метод математичного планування експерименту [4–6], зокрема застосували повний факторний експеримент. Цей метод використовували, тому що при його реалізації можливо визначити значення параметрів оптимізації при всіх можливих поєднаннях рівнів варіювання факторів.

В роботах [4, 6] показано, що на стадіях як се-

редньо-температурних, так і високотемпературних перетворень основними факторами є:

- матеріальний склад вугілля і ступінь його метаморфізму, що впливає на якісний і кількісний склад продуктів термічного піролізу в результаті термічної деструкції;

- рівень температурного впливу на вугілля та швидкість підвищення температури, що впливають як на початкові, так і на подальші хімічні реакції, що протікають між уламками макромолекулярних речовин, які утворилися в результаті термічної деструкції;

- розмір вугільних зерен і величина тиску в реакційному об'ємі, що впливають на реакції та які протікають між продуктами термічного розпаду макромолекули вугілля;

- хімічна активність газової фази в міжзерновому реакційному об'ємі, що здатна вступати в хімічну взаємодію з поверхнею вугільних частинок і, тим самим, змінювати їх пластичні властивості;

- наявність різних мінеральних сполук або мінеральних домішок у вугіллі, одночасно впливаючи на внутрішньозернову взаємодію проміжних продуктів термічної деструкції вугілля і на термохімічні

перетворення в міжзерновому реакційному об'ємі.

Проаналізувавши зазначені фактори з урахуванням основних об'єктів і методів дослідження, були виділені два фактори:

1. Матеріальний склад вугілля і ступінь його метаморфізму, тобто природа використаного спіклого вугілля. Для кількісної оцінки зазначеного фактора в дослідженні використовувався показник вмісту в шихті фракції слабоспіклого вугілля марки ДГ (X_1);

2. Розмір вугільних зерен, тобто помел спіклого вугілля. Для кількісної оцінки цього фактора в дослідженні використовувався показник вмісту часток фракції слабоспіклого вугілля (X_2).

Для оцінки впливу зазначених факторів у дослідженні використовували як параметри оптимізації показники аналізів структурної міцності (Y_1), твердості за Гінсбургом (Y_2), а також горючість лабораторного коксу (Y_3). Тут необхідно зазначити, що для оцінки горючості лабораторного коксу застосовували показник швидкості втрати маси лаборато-

рного коксу при температурі 500°C у вільному струмі повітря.

Як математичний апарат був використаний метод повного факторного експерименту (ПФЕ 2^2). Результати розрахунків показали, що отримані лінійні моделі, не адекватні, оскільки розрахункове значення критерію Фішера більше табличного. Отже, лінійні моделі, що отримані у встановлених межах не є прийнятними. Таким чином, необхідну зону експерименту описано за допомогою моделей більш вищого порядку.

Для синтезу регресії моделі більш високого (другого) порядку, а також при математичному описі оптимальної зони експерименту застосовували центральне композиційне ортогональне планування експерименту (ЦКОП).

Матриця планування експерименту (ЦКОП) і результати експериментів подані в таблиці 1.

При обробці результатів планування (ЦКОП), за допомогою статистичного аналізу, були отримані такі рівняння регресії:

$$Y_1 = 61,36 - 2,87X_1 + 1,08X_2 - 2,54X_1^2 + 0,85X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,97 - 0,043X_1 + 0,017X_2 - 0,042X_1^2 + 0,015X_2^2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,024 + 0,0033X_1 - 0,0013X_2 - 0,0007X_1 \cdot X_2 + 0,0025X_1^2 + 0,0024X_2^2 \quad (3)$$

Розрахункові значення критерію Фішера склали:

$$F_p = 0,73; (Y_1) \quad (4)$$

$$F_p = 0,22; (Y_2) \quad (5)$$

$$F_p = 0,34; (Y_3) \quad (6)$$

Таблиця 1

План-матриця і результати досліджень за ЦКОП

Дослід	План-матриця						Y ₁ Структурна міцність		Y ₂ Абразивна твердість		Y ₃ Горючість			
	X ₀	X ₁ Вміст фракції вугілля марки ДГ			X ₂ Гранулометричний склад фракції вугілля марки ДГ			X ₁ X ₂	X ₁ ² -2/3	X ₂ ² -2/3	1	2	1	2
1	+	-	5	-	70	+	1/3	1/3	60	62	0,94	0,93	0,027	0,026
2	+	-	5	+	90	-	1/3	1/3	63	62	0,97	0,98	0,026	0,025
3	+	+	15	-	70	-	1/3	1/3	55	57	0,84	0,85	0,034	0,035
4	+	+	15	+	90	+	1/3	1/3	58	59	0,9	0,88	0,03	0,031
5	+	0	10	-	70	0	-2/3	1/3	60	61	0,95	0,93	0,027	0,029
6	+	0	10	+	90	0	-2/3	1/3	62	64	0,93	0,98	0,025	0,026
7	+	-	5	0	80	0	1/3	-2/3	62,5	63	0,95	0,97	0,023	0,024
8	+	+	15	0	80	0	1/3	-2/3	54	55	0,87	0,89	0,031	0,029
9	+	0	10	0	80	0	-2/3	-2/3	61,5	62	0,97	0,98	0,024	0,025

Табличне значення критерію Фішера:

$$F_T = 6,256 \quad (7)$$

Результати проведеного дослідження показали, що рівняння регресії адекватні, оскільки розрахун-

кове значення критерію Фішера менше табличного. Результати розрахунку для перевірки значущості коефіцієнтів регресії представлені в таблиці 2 ($t_{\text{табл}} = 2,26$).

Таблиця 2

Перевірка значимості коефіцієнтів регресії

	t ₀	t ₁	t ₂	t ₁₂	t ₁₁	t ₂₂
Y ₁	271,9	12,74	4,8	1,1	11,26	2,58
Y ₂	259,4	11,4	4,47	0,34	11,4	4,02
Y ₃	113,3	15,1	5,8	3,5	11,24	11,23

Підставивши значення факторів у рівняння регресії, були отримані графічні зображення рівнянь (рис. 1 – 3).

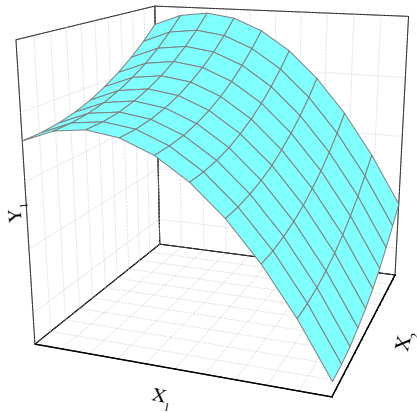


Рисунок 1 – Поверхня відгуку для структурної міцності при ЦКОП

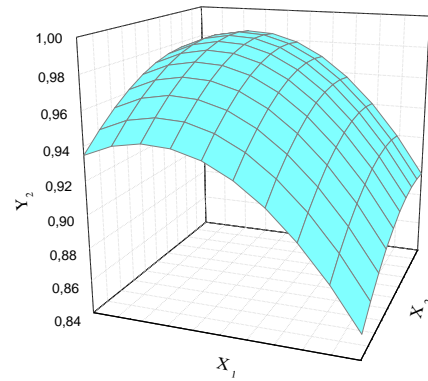


Рисунок 2 – Поверхня відгуку для абразивної твердості при ЦКОП

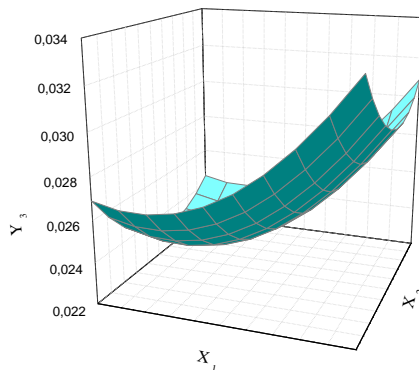


Рисунок 3 – Поверхня відгуку для показника горючості при ЦКОП

Беручи до уваги те, що отримані статистичні рівняння регресії 1–3 мають кодовані значення факторів, що ускладнює їх використання. Таким чином, для зручності технологічного використання розробленими рівняннями регресії, отримані рівняння були перераховані в натуральний вигляд, де вміст фракції вугілля марки ДГ позначений V , а гранулометричний склад фракції вугілля марки ДГ позначений G .

Рівняння для параметрів оптимізації «Структурна міцність»:

$$f_1(V,G)=85,42+1,46 \cdot V-0,84 \cdot G-0,11 \cdot V^2+5,8 \cdot 10^{-3} \cdot G^2 \quad (8)$$

Рівняння для параметрів оптимізації «Абразивна твердість»:

$$f_2(V,G)=1,71+2,5 \cdot 10^{-2} \cdot V-2,23 \cdot 10^{-2} \cdot G-1,68 \cdot 10^{-3} \cdot V^2+1,5 \cdot 10^{-4} \cdot G^2 \quad (9)$$

Рівняння для параметрів оптимізації «Горючість»:

$$f_3(V,G)=0,18-2,2 \cdot 10^{-4} \cdot V-3,83 \cdot 10^{-3} \cdot G-1,4 \cdot 10^{-5} \cdot VG+1,01 \cdot 10^{-4} V^2+2,4 \cdot 10^{-5} \cdot G^2 \quad (10)$$

Аналіз отриманих аналітичних виразів показав, що вміст фракції вугілля марки ДГ позначений V , та гранулометричний склад фракції вугілля марки ДГ позначений G , впливають на параметри оптимізації процесу одержання коксу заданих властивостей. Одержані математичні залежності при

проведенні багатофакторного експерименту можуть стати основою математичної моделі технологічного регулювання властивостей коксу при додаванні певної кількості домішки фракції слабкоспієливого вугілля марки ДГ.

Бібліографічний опис:

1. Старовойт А.Г. Состояние и перспективы рынка кокса Украины / А.Г. Старовойт // Черная металлургия. – 2009. – № 11. – С. 32 – 36.
2. Кабак, Т.А. Изучения свойств слабоспекающегося угля марки ДГ / Татьяна Александровна Кабак // Теория и практика металлургии. – 2013. – №3 – 4. – С.15 – 17
3. Kushnareva T.A. Clinkering Properties of Individual Fractions of Enriched Poorly Clinkering Coal / T.A. Kushnareva, E.L. Sorokin // Coke and Chemistry, 2018, Vol. 61, No. 2, pp. 38 – 41..
4. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента в химической технологи / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – К.: Вища школа, 1976. – 124с.
5. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168с.

6. Пинчук С.И. Планирование эксперимента, основы научных исследований и организация эксперимента: конспект лекций для студентов специальностей: 7.090401, 7.090103. – Днепропетровск: НМетАУ, 2002. – 62с.

References:

1. Starovojt A.G. Sostoyanie i perspektivy rynka koksa Ukrainy / A.G. Starovojt // Chernaya metallurgiya. – 2009. – № 11. – S. 32 – 36.
2. Kabak, T.A. Izucheniya svojstv slabospekayushegosya uglya marki DG / Tatyana Aleksandrovna Kabak // Teoriya i praktika metallurgii. – 2013. – №3 – 4. – S.15 – 17
3. Kushnareva T.A. Clinkering Properties of Individual Fractions of Enriched Poorly Clinkering Coal / T.A. Kushnareva, E.L. Sorokin // Coke and Chemistry, 2018, Vol. 61, No. 2 , pp. 38 – 41..
4. Bondar A.G. Planirovanie eksperimenta v himicheskoy tehnologi / A.G. Bondar, G.A. Statyuha. – K.: Visha shkola, 1976. – 124s.
5. Vinarskij M.S. Planirovanie eksperimenta v tehnologicheskikh issledovaniyah / M.S. Vinarskij, M.V. Lure. – K.: Tehnika, 1975. – 168s.
6. Pinchuk S.I. Planirovanie eksperimenta, osnovy nauchnyh issledovaniy i organizaciya eksperimenta: konspekt lekcij dlya studentov specialnostej: 7.090401, 7.090103. – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2002. – 62s.

Стаття поступила 14.01.2019

Вимоги щодо оформлення статей:

Структура:

УДК

Назва статті українською мовою (регістр як в реченні, не більш 15 слів без переносів)

Автори українською мовою (Прізвище, І.П не більш 6)

Назва статті англійською мовою (регістр як в реченні, не більш 15 слів без переносів)

Автори англійською мовою (Прізвище, І.П не більш 6)

Анотація українська: (200-400 слів), повинна містити:

Мета.

Методика.

Результати.

Наукова новизна.

Практична значущість.

Ключові слова:

Анотація на англійській мові: (200-400 слів) , повинна містити:

Purpose

Methodology

Findings

Originality

Practical value.

Keywords

Keywords

Стаття повинна бути оформлена в редакторі Word. Поля 20мм x 20 x 20 x 20. Шрифт Times New Roman,

розмір 14, інтервал 1,5.

Формули повинні бути набрані в об'єкті Microsoft Education 3.0.

Рисунки повинні бути в складі тексту, обтінання виставлено в режим «в тексті», або включені у комірку таблиці з таким же режимом.

Текст статті українською або англійською мовою:
Вступ

Аналіз літературних даних та постановка проблеми (обов'язково з аналізом джерел, які індексуються в науково метричних базах даних Scopus або Webofscience).

Мета і завдання досліджень

Матеріали та методи дослідження

Результати дослідження

Обговорення результатів.

Висновки

Бібліографічний опис згідно ДСТУ 8302:2015 (при наявності у матеріалів індексів DOI або індексування матеріалу в наукометричних базах обов'язково вказувати ці індекси)

References (переклад бібліографічного опису на англійську мову, або транслітерація його на англійську мову)

Відомості про авторів статті: (на кожного автора: ПІБ, науковий ступінь, місце роботи, ORCID, e-mail, телефон)