

Каширная Н.О., Коренев О.В., Сорокин Е.Л., Старовойт А.Г.,
Малий Є.І., Старовойт М.А.

Визначення якісних параметрів отримання коксу з заданими властивостями

Kashirnaya N.O., Korenev O.V., Sorokin E.L.
Starovoit A.G., Maliy E.I., Starovoit M.A.

Values of clear parameters for coke removal with specified powers

Мета. Провести дослідження з оптимізації складу вугільних шихт, що містять густинну фракцію слабкоспікливого вугілля для отримання необхідних властивостей металургійного коксу.

Методика. Дослідження проведені з використанням центрального композиційного ортогонального плану. Дослідження властивостей здійснювалось за допомогою визначення структурної міцності, абразивної твердості та горючості отриманого коксу з додаванням концентрату слабкоспікливого вугілля

Результати. З допомогою центрального композиційного ортогонального плану отримані статистичні моделі. Практично всі вільні члени рівнянь виявилися значущими, оскільки розрахункове значення *t*-критерію Стьюдента показали значення вище табличного. Таким чином, отримані рівняння регресії є адекватними, оскільки розрахункові значення критерію Фішера мають значення більше табличного значення критерію Фішера.

Наукова новизна. Проведене дослідження дозволило встановити закономірності впливу вмісту домішки концентрату слабкоспікливого вугілля на якісні показники отриманого з цієї суміші коксового залишку.

Практична значимість. Отримані результати дослідження впливу концентрату слабкоспікливого вугілля, за допомогою центрального композиційного ортогонального плану дозволять розширити сировинну базу коксування та знизити собівартість отримуваного коксу.

Ключові слова. центральне композиційне ортогональне планування, слабкоспікливе вугілля, структурна міцність коксу, коксування, термічний піроліз, сировинна база коксування.

Carry out research into the optimization of the coal charge warehouse in order to replace the thick fraction of weakly adhesive coal to remove the necessary power from metallurgical coke.

The investigation was carried out on the basis of the central compositional orthogonal plan. The investigation of the authorities was based on the additional significance of the structural value, abrasive hardness and flammability of the stripped coke from the added concentrate of weakly adhesive coal.

With the help of a central compositional orthogonal plan, a statistical model was derived. Almost all of the different terms of the equations turned out to be significant, and some of the diversified values using the Student's *t*-test showed values higher than the tabulated ones. Thus, if the equal regression is considered adequate, the remainder of the divergent values of the Fisher criterion may be more significant than the tabulated value of the Fisher criterion.

The investigation made it possible to establish the patterns of influx of weakly adhesive coal concentrate into the house on the clear indications of the excess coke extracted from the mixture.

Obtain the results of the investigation by infusing a concentrate of weakly abrasive coal, in addition to the central compositional orthogonal plan to allow the coking base to be expanded and the sobivarity of the coke to be reduced to be reduced.

Key words: central compositional orthogonal planning, weakly compacted coal, structural value of coke, coking, thermal pyrolysis, syrup base coking.

Огляд досліджень [1-5], які присвячені дослідженню по розширенню сировинної бази коксування показує, що проаналізовані методи поділяються на декілька груп, які відрізняються за способом впливу. До першої групи відносяться механічні методи. До другої – термічні методи. До третьої – методи впливу на вугілля за допомогою різноманітних домішок. До четвертої – методи, що передбачають виділення зі спікливого вугілля цінної речовини, тобто «сепараційні».

Наявні методи щодо розширення сировинної бази коксування в сучасних умовах, є малоефективними або економічно недоцільними, а також потребують чималих капіталовкладень. Проте у наш

час набуває популярності група методів, націлена на регулювання властивостей спікливого вугілля шляхом спрямованого впливу на природу вугілля. Тут варто зазначити, що ці методи мають лише теоретичний характер і потребують детального вивчення структури і властивостей сировинної бази коксування.

Отже, група методів, що ґрунтується на цілеспрямованому впливі на природу вугілля шляхом перерозподілу компонентного складу, тобто на спрямованому регулюванні властивостей, є найбільш перспективною. Ця група характеризується тим, що розширення сировинної бази коксування відбувається через залучення до складу вугільної шихти вугілля,

© Каширная Н.О. – аспірант УДУНТ
Коренев О.В. – аспірант УДУНТ
Сорокин Е.Л. – д.т.н., проф. УДУНТ
Старовойт А.Г. – д.т.н., проф. УДУНТ
Малий Є.І. – д.т.н., проф. УДУНТ
Старовойт М.А. – к.т.н., доц. УДУНТ

Kashirnaya N. – PhD student at USUST
Korenev O. – PhD student at USUST
Sorokin E. – d.t.s., profssor, USUST
Starovoit A. – d.t.s., profssor, USUST
Maliy E. – d.t.s., profssor, USUST
Starovoit M. – c.t.s., docent USUST



Це стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>

використовуваного в енергетиці. Тут необхідно зазначити, що використання енергетичного вугілля під час виробництва металургійного коксу без зміни його технологічних властивостей призводить до зниження якості отриманого вуглецевого відновника. Тому для використання зазначеного методу необхідне детальне вивчення можливості зміни властивостей низькометаморфізованого вугілля, а також структури і властивостей спіктивного вугілля.

Загальна ідея роботи ґрунтується на цілеспрямованому впливі на природу вугілля шляхом перерозподілу компонентного складу [6-8], тобто на спрямованому регулюванні властивостей, є найбільш перспективною. Ця група характеризується тим, що розширення сировинної бази коксування відбувається через залучення до складу вугільної шихти вугілля, використовуюваного в енергетиці. Тут необхідно зазначити, що використання енергетичного вугілля під час виробництва металургійного коксу без зміни його технологічних властивостей призводить до зниження якості отриманого вуглецевого відновника. Тому для використання зазначеного методу необхідне детальне вивчення можливості зміни властивостей низькометаморфізованого вугілля, а також структури і властивостей спіктивного вугілля.

У роботі вирішується науково-технічна проблема яка стосується розширення сировинної бази коксування на основі сучасних уявлень про молекулярну і надмолекулярну будову вугілля різних марок, що дозволить використовувати у вугільній шихті для коксування слабкоспікливе енергетичне вугілля марки ДГ і отримувати металургійний кокс з необхідним комплексом заданих властивостей.

Дослідження з вивчення структури і властивостей густинних фракцій слабкоспікливого низькометаморфізованого вугілля дозволяють стверджувати про можливість використання окремих фракцій вугілля марки ДГ у шихті для коксування і отримання металургійного коксу із заданими властивостями.

Отже, результати з вивчення структури окремих густинних фракцій як добреспікливого, так слабкоспікливого вугілля, а також отриманих даних з вивчення можливості використання окремих фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування дозволяють провести оптимізацію складу вугільних шихт, що містять густинну фракцію слабкоспікливого вугілля для отримання необхідних властивостей металургійного коксу.

– для першого параметра оптимізації, структурної міцності;

$$Y_1 = 61,36 - 2,87X_1 + 1,08X_2 - 2,54X_1^2 + 0,58X_2^2; \quad (1)$$

– для другого параметра оптимізації, абразивної твердості;

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

– для третього параметра оптимізації, горючості;

$$Y_3 = 0,024 + 0,0033X_1 - 0,0013X_2 - 0,0007X_1X_2 + \quad (3)$$

$$+ 0,0025X_1^2 + 0,0024X_2^2$$

Отримані рівняння регресії є адекватними, оскільки розрахункові значення критерію Фішера мають значення більше табличного значення критерію Фішера (6,256).

Для опису характеру впливу домішки густинної фракції слабкоспікливого вугілля на якісні показники вуглецевого відновника було використано математичний метод планування експерименту центральне ортогональне планування [9].

Як фактори використовували:

X1 – вміст домішки густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ. Інтервал варіювання використовували 5% з нульовим рівнем фактору 10%;

X2 – гранулометричний склад доданої домішки густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ, при цьому кількісну оцінку гранулометричного складу як фактору використовували вміст у фракції частинок <3 мм. Інтервал варіювання цього фактору становить 10% з нульовим рівнем фактору 80%.

Як параметри оптимізації були обрані показники якості попередньо отриманого лабораторного коксу. Для кількісної оцінки параметрів оптимізації брали такі показники:

Y1 – структурна міцність лабораторного коксу, %. Цей показник використовувався для оцінки впливу домішки густинної фракції на показники тріщинуватості отриманого лабораторного коксу, при цьому він опосередковано оцінює макроструктуру.

Y2 – абразивна твердість за Гінсбургом. Зазначений параметр оптимізації використовувався для оцінки щільності упаковки та орієнтації блоків вуглеводнів на мікромолекулярному рівні, що дає можливість оцінити вплив домішки густинної фракції слабкоспікливого вугілля на мікроструктуру вуглецевого залишку;

Y3 – горючість лабораторного коксу, г/с. Цей показник використовувався як непрямий показник оцінки реакційної здатності лабораторного коксу. При цьому як кількісну оцінку зазначеного параметра оптимізації використовували розраховану швидкість втрати маси зразка лабораторного коксу, нагрітого до 500°C на ділянці інтенсивного горіння.

За результатами центрального ортогонального планування були отримані статистичні моделі. Практично всі вільні члени рівнянь виявилися значущими, оскільки розрахункове значення t-критерію Стюдента показали значення вище табличного. Незначущими були лише вільні члени рівняння, що оцінювали взаємний вплив факторів для першого і другого параметра оптимізації [10].

Отже, рівняння регресії мають вигляд:

Розрахункові значення критерію Фішера склали:

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

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

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

Підставивши значення факторів в отримані статистичні моделі, було отримано графічне зображення поверхонь (рис. 1 - 3), що дозволяють оцінити оптимальні зони впливу факторів на параметри оптимізації.

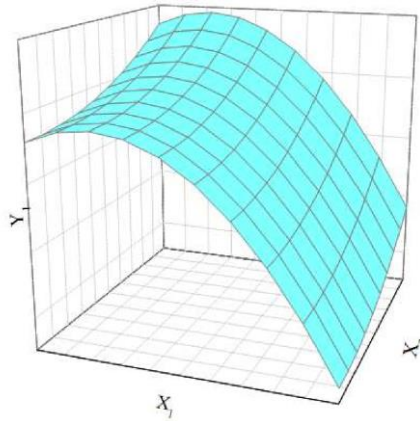


Рис. 1 Поверхня відгуку «структурна міцність»

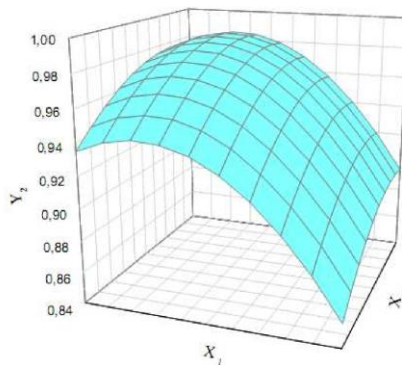


Рис. 2 Поверхня відгуку «абразивна твердість»

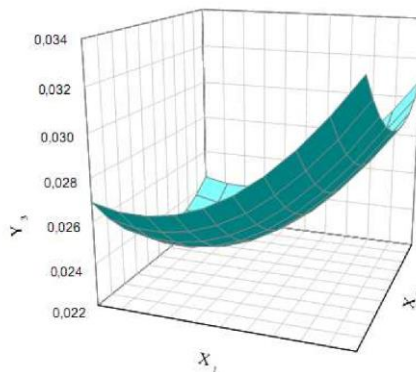


Рис. 3 Поверхня відгуку «горючість»

Приймаючи до уваги проведенні дослідження та враховуючи результати центрального ортогонального планування були отримані статистичні моделі. Практично всі вільні члени рівнянь виявилися значущими, оскільки розрахункові значення t-критерію Стьюдента показали значення вище табличного.

Отримані рівняння регресії є адекватними, оскі-

льки розрахункові значення критерію Фішера мають значення більше табличного значення критерію Фішера.

Таким чином, розробка рекомендацій щодо отримання густинної фракції слабкоспікливого вугілля дозволила стверджувати про можливість отримання зазначеного продукту із заданими властивостями.

Перелік посилань

1. Сорокін Є.Л. Розширення сировинної бази коксування за рахунок використання слабкоспікливого малометаморфізованого вугілля у вугільній шихті / Євгеній Леонідович Сорокін // Углекхимический журнал: научно-технический журнал. – Харьков: ООО «С.А.М.», 2018. – № 2. – С. 27.
2. Старовойт А.Г. Изменение свойств угольных фракций слабоспекающегося угля / А.Г. Старовойт, Т.А. Кабак, Е.Л. Сорокин // XXXIX Міжнародна науково-технічна конференція молоді ВАТ «Запоріжсталь» 2013: зб. тез доп., Запоріжжя, 5-6 грудня 2013 р. – Запоріжжя, 2013. – С. 13.
3. Сорокін Є.Л. Розробка методу регулювання якістю коксу // Євгеній Леонідович Сорокін // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: зб. тез доп. VI Науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Львів, 25-28 квітня 2012 р. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – С. 164.
4. Li, Zhen Correlation between the Concentration of Aromatic Hydrocarbons and BaP from Coke Oven Fugitive Emissions in Shanxi, China / Zhen Li, Ling Mu, Lin Peng, Hui-Ling Bai, Xiao-Feng Liu // Aerosol and Air Quality Research. – 2012. – V. 12. – P. 1373-1378.
5. Егоров В.М., Малий Е.И. Каменноугольные фусы как связующее и восстановитель при получении рудно-углеродистых брикетов. // Углекхимический журнал. - 2003. - № 1-2. - С. 47-48.
6. Сорокин Е.Л. Повышение качества кокса для недоменных производств / Евгений Леонидович Сорокин // Slovak international scientific journal / Chemistry. – Bratislava, Slovakia, 2019. – Vol. 1. – № 35. – P. 5-8.
7. Сорокін Є.Л. Дослідження впливу добавки хромітової руди на фізико-хімічні та фізико-механічні властивості коксу / Є.Л. Сорокін, О.І. Довгополий // Вдосконалення виробництва палива та вуглецевих матеріалів, як чинник розвитку металургії та енергетики: матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих учених. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 10-12.
8. Егоров В.М. Утилизация красных шламов в коксохимической промышленности / В.М. Егоров, Е.Л. Сорокин // Углекхимический журнал. – 2002. – № 5-6 – С. 47-48.
9. Пинчук С.И. Основы научных исследований и организация эксперимента (раздел “Планирование эксперимента”). Конспект лекций для студентов специальностей: 7.090401, 7.090103. – Днепропетровск: НМетАУ, 2002.– 62 с.
10. Барский В.Д., Коган Л.А. Практический математико-статистический анализ в коксохимии.– М.: Металлургия, 1975.– 184 с.

References

1. Sorokin, Ye. L. (2018). Rozshyrennia syrovyynnoi bazy koksuвання za rakhunok vykorystannia slabkospiklyvoho malome-tamorfizovanoho vuhillia u vuhilnii shykhti. *Uhlekhycheskyi zhurnal*, (2), 27
2. Starovoit, A. H., Kabak, T. A., & Sorokyn, E. L. (2013). Yzmenenye svoistv uholnykh fraktsyi slabospekaiushchehosia uhlia. In *XXXIX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia molodi VAT "Zaporizhstal" 2013: zb. tez dop., Zaporizhzhia, 5-6.12.2013*. (pp. 13)
3. Sorokin, Ye. L. (2012). Rozrobka metodu rehuliuвання yakistiu koksu. In *Postup v naftoha-zopererobnii ta naftokhimichnii promyslovosti: zb. tez dop. VI Naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh, Lviv, 25-28.04.2012*. Vydavnytstvo Natsionalnogo universytetu "Lvivska politekhnika". (pp. 164)
4. Li, Z., Mu, L., Peng, L., Bai, H.-L., & Liu, X.-F. (2012). Correlation between the Concentration of Aromatic Hydrocarbons and BaP from Coke Oven Fugitive Emissions in Shanxi, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 2012, 12, P. 1373-1378
5. Egorov, V. M., & Malyi, E. I. (2003). Kamennougolnye fusy kak sviazuiushchee i vosstanovitel pri poluchenii rudno-uglerodistykh briketov. *Uglekhimicheskii zhurnal*, (1-2), 47-48
6. Sorokin, E. L. (2019). Povyshenie kachestva koksa dlia nedomennykh proizvodstv. *Slovak international scientific journal / Chemistry*, 1(35), 5-8
7. Sorokin, Ye. L., & Dovhopolyi, O. I. (2008). Doslidzhennia vplyvu dobavky khromitovoi rudy na fizyko-khimichni ta fizyko-mekhanichni vlastyvyosti koksu. In *Vdoskonalennia vyrobnytstva palyva ta vuhletsevykh materialiv, yak chynnyk rozvytku metalurhii ta enerhetyky: materialy Vseukrainskoi naukovo konferentsii studentiv ta molodykh uchenykh*. Dnipropetrovsk. (pp.10-12)
8. Egorov, V. M., & Sorokin, E. L. (2002). Utilizatsiia krasnykh shlamov v koksokhimicheskoi promyshlennosti. *Uglekhimicheskii zhurnal*. (5-6), 47-48
9. Pinchuk, S. I. (2002). *Osnovy nauchnykh issledovaniy i organizatsiia eksperimenta (razdel "Planirovanie eksperimenta")*. Konspekt lektsii dlia studentov spetsialnosti: 7.090401, 7.090103. NMetAU
10. Barskii, V. D., & Kogan, L. A. (1975). *Prakticheskii matematiko-statisticheskii analiz v koksokhimii*. Metallurgiiia

Надійшла до редколегії / Received by the editorial board: 01.12.2023

Прийнята до друку / Accepted for publication: 20.02.2024