

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ І ГРАФІЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРОГНОЗУ ПОКАЗНИКІВ МЕХАНІЧНОЇ І «ГАРЯЧОЇ» МІЦНОСТІ ДОМЕННОГО КОКСУ, ОТРИМАНОГО З ТРАМБОВАНОЇ ШИХТИ

© Д.В. Мірошниченко¹

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна

К.О. Шмельцер², М.В. Кормер³

Державний університет економіки і технологій, 50005, м. Кривий Ріг, пл. захисників України, 2, Україна

Н.В. Мукіна⁴

ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", 50095, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Криворіжсталі, 1, Україна

В.В. Коваль⁵

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ВУГЛЕХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ (УХІН)», 61023, м. Харків, вул. Весніна, 7, Україна

К.А. Серкіз⁶, А.В. Мироненко⁷

НТУ «ХПІ»

¹ Мірошниченко Денис Вікторович, докт. техн. наук, проф., зав. кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива (ТПНГ та ТП), ORCID: 0000-0001-6830-8747, Scopus ID: 6602479663, e-mail: dymir79@gmail.com

² Шмельцер Катерина Олегівна, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри «Хімічні технології та інженерія» (ХТ та І), ORCID: 0000-0001-6830-8747, Scopus ID: 55808307400, e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

³ Кормер Марина Віталіївна, канд. хім. наук, доц., доц. кафедри «ХТ та І», ORCID: 0000-0002-6509-0794, Scopus ID: 55841295800, e-mail: kormer@duet.edu.ua

⁴ Мукіна Наталія Володимирівна, Ph.D. (техн. науки), нач. технічного відділу, ORCID: 0009-0007-0774-4124, Scopus ID: 57485403500, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

⁵ Коваль Валентин Валерійович, Ph.D. (техн. науки), старший дослідник, ст. наук. співр. вугільного відділу, ORCID: 0000-0003-3771-3293, Scopus ID: 57211492224, e-mail: kovalen79@gmail.com

⁶ Серкіз Кирило Андрійович, аспірант кафедри ТПНГ та ТП, Scopus ID: 60535647900, e-mail: serkizk96@gmail.com

⁷ Мироненко Андрій Валерійович, аспірант кафедри ТПНГ та ТП, ORCID: 0009-0001-3927-8574, e-mail: 4norim@gmail.com

Виконано комплексне дослідження вугільних концентратів, які формують сировинну базу коксування підприємства. Дослідження проведено з використанням комплексу сучасних методів аналізу, зокрема ситового, технічного, петрографічного та пластометричного, а також із визначенням показників розмолодатності, тиску розпирання та хімічного складу мінеральної частини. Отримані результати свідчать про значну різноманітність властивостей вугільних концентратів, що входять до сировинної бази коксування. Встановлено, що окремі компоненти шихти характеризуються суттєвими відмінностями за гранулометричним складом, технологічними властивостями, петрографічними характеристиками та особливостями мінеральної частини, що безпосередньо впливає на процеси пластичного стану вугілля та формування структури коксу. Проведене дослідження створює наукове підґрунтя для підбору та коригування складу вугільних шихт із урахуванням індивідуальних властивостей їх компонентів, що дозволяє підвищити стабільність технологічного процесу коксування.

Показано, що збільшення спікливості вугільних шихт, визначеної як пластометричним, так і петрографічним методами, а також підвищення їх коксівності сприяє поліпшенню показників механічної міцності доменного коксу. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між зазначеними параметрами: коефіцієнти кореляції, що характеризують ступінь взаємозв'язку, становлять 0,9638 та 0,9486 відповідно. На основі отриманих експериментальних даних побудовано графічні залежності та розроблено математичні рівняння, які дозволяють за результатами лабораторних досліджень якості вугільних шихт прогнозувати показники механічної міцності коксу, отриманого в процесі коксування. Крім того, встановлено наявність лінійної залежності між показниками реакційної здатності коксу (CRI) та його міцності після реакції (CSR) для дослідних зразків коксу. Розроблено математичні залежності, що дозволяють з достатньою точністю прогнозувати значення показників CRI та CSR лабораторного коксу на основі даних про лужно-кислотне відношення та індекс основності вихідних вугільних шихт. Статистична

оцінка отриманих рівнянь підтверджує їх високу достовірність і надійність: коефіцієнти кореляції становлять 0,95–0,96, а значення середньоквадратичного відхилення перебувають у межах 0,77–0,90.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для оптимізації складу вугільних шихт у промислових умовах коксохімічного виробництва. Запропоновані графічні та математичні залежності можуть застосовуватися для оперативного прогнозування показників якості доменного коксу ще на стадії лабораторного аналізу сировини, що дозволяє зменшити кількість промислових випробувань, підвищити ефективність використання вугільної сировини різних басейнів та забезпечити стабільне отримання коксу з високими показниками механічної та гарячої міцності. Це, у свою чергу, сприятиме підвищенню ефективності роботи доменного виробництва та зниженню витрат на підготовку сировини.

Ключові слова: вугільні концентрати, шихта, властивості коксу, реакційна здатність, механічна міцність, післяреакційна міцність, математичні залежності.

Автор для листування Д.В. Мірошніченко, e-mail: dvmir79@gmail.com

Рукопис надійшов до редакції 11.03.2026

Прийнято до публікації 25.05.2026

Опубліковано 29.05.2026

Як цитувати:

1. Мірошніченко Д.В. Розробка математичних і графічних залежностей прогнозу показників механічної і «гарячої» міцності доменного коксу, отриманого з трамбованої шихти / Д.В. Мірошніченко, К.О. Шмельцер, М.В. Кормер, Н.В. Мукіна, В.В. Коваль, К.А. Серкіз, А.В. Мироненко // Вуглехімічний журнал. – 2026. – № 3. – С. 22–39. <https://doi.org/10.31081/1681-309X-2026-0-3-22-39>

2. Mirosnichenko, D. V., Shmeltser, K. O., Kormer, M. V., Mukina, N. V., Koval, V. V., Serkiz, K. A. & Myronenko, A. V. Rozrobka matematychnykh i hrafichnykh zalezhnosteï prohnazu pokaznykiv mekhanichnoi i «hariachoi» mitsnosti domennoho koksï, otrymanoï z trambovanoï shykhty (2026). *Vuhlekhimichnyi Zhurnal*, (3), 22–39. <https://doi.org/10.31081/1681-309X-2026-0-3-22-39>

Як отримати повний текст статті:

- протягом 2-х років від дати опублікування – за запитом на e-mail: post@ukhin.org.ua

- після 2-х років від дати опублікування – вільний доступ у базі даних «Наукова періодика України» НБУ ім.

Вернадського за посиланням:

http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis-nbuv/cgiirbis_64.exe?Z2ID=&I2IDBN=UJRN&P2IDBN=UJRN&S2ISTN=1&S2IREF=10&S2IFMT=juu_all&C2ICOM=S&S2ICNR=20&S2IP01=0&S2IP02=0&S2IP03=0&S2IPREF=&S2ICOLORTERMS=0&S2ISTR=ukhj

Ця стаття ліцензується відповідно до міжнародної ліцензії Creative Commons Attribution 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Бібліографічний список

1. Nag, D., Haldar, S. K., Choudhary, P. K., & Banerjee, P. K. (2009). Prediction of coke CSR from ash chemistry of coal blend. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 29(3), 243–250. <https://doi.org/10.1080/19392690903218117>

2. Pyshyev, S., Shmeltser, K., Mirosnichenko, D., Kravchenko, S., Vytrykush, N., & Shved, M. (2025). Blast furnace coke requirements and methods of improving its quality: A review. *Chemistry & Chemical Technology*, 19(1), 174–182. <https://doi.org/10.23939/chcht19.01.174>

3. Ковальов, Є. Т., Васильєв, Ю. С., Кузниченко, В. М., Кривоніс, В. В., Данилов, О. Б., & Соловійов, М. О. (2009). Теорія та практика виробництва доменного коксу високої якості з трамбованих шихт зниженої спекаємості. *Вуглехімічний журнал*, (3–4), 24–30.

4. Гусак, В. Г., Гаврилюк, В. И., Магомедов, М. С., Пастернак, О. О., Ковалев, Е. Т., & Дроздник, І. Д. (2013). Оптимізація вугільної сировинної бази для отримання коксу рядової та покращеної якості. *Вуглехімічний журнал*, (3–4), 8–13.

5. Kuyumcu, H. Z., & Sander, S. (2014). Stamped and pressed coal cakes for carbonisation in by-product and heat-recovery coke ovens. *Fuel*, 121, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.12.028>

6. Sand, A., Rosenkranz, J., & Kuyumcu, H. (2013). Modelling and simulation of stamp-charged coke making by 2-D discrete element method. *Advanced Powder Technology*, 24, 1039–1047. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2013.03.004>

7. Rejda, M., Galko, G., Sajdak, M., & Wierczorek, A. (2022). Stamp-charged cokemaking technology – An empirical model for prediction of coal charge density for stamp charging coke oven batteries. *Energies*, 15, 9440. <https://doi.org/10.3390/en14123401>

8. Mirosnichenko, D., Koval, V., Kravchenko, S., Soloviev, M., Kogin, A., Abdulin, S., & Grankin, O. (2024). Transfer of operating battery to loading with stamped charge. *Petroleum and Coal*, 66(2), 527–536.

9. Мукіна, Н. В., & Мірошніченко, Д. В. (2022). Коксування трамбованих вугільних шихт. Вміст газового вугілля ≤40 %. *Вуглехімічний журнал*, (3), 4–15.

10. ДСТУ 4096–2002. (2002). *Вугілля буре, кам'яне, антрацит, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробовувань (ISO 1988:1975, ISO 5069-1:1983, ISO 5069-2:1983, NEQ)*. Держстандарт України.
11. International Organization for Standardization. (2008). *ISO 589:2008 Hard coal—Determination of total moisture*. ISO.
12. International Organization for Standardization. (2024). *ISO 1171:2024 Solid mineral fuels. Methods for determination of ash*. ISO.
13. International Organization for Standardization. (2024). *ISO 562:2024 Hard coal and coke—Determination of volatile matter*. ISO.
14. International Organization for Standardization. (2020). *ISO 334:2020 Coal and coke. Determination of total sulfur. Eschka method*. ISO.
15. International Organization for Standardization. (2009). *ISO 7404-3:2009 Methods for the petrographic analysis of coals. Part 3: Method of determining maceral group composition*. ISO.
16. International Organization for Standardization. (2009). *ISO 7404-5:2009 Methods for the petrographic analysis of coals. Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite*. ISO.
17. ДСТУ 7722:2015. (2016). *Вугілля кам'яне. Метод визначення пластометричних показників*. ДП «УкрНДНЦ».
18. ДСТУ 9045:2020. (2020). *Паливо тверде. Методи визначення хімічного складу золи*. ДП «УкрНДНЦ».
19. ДСТУ 8724:2017. (2018). *Вугілля кам'яне та шихти на його основі. Метод визначення тиску розпирання, який виникає під час коксування*. ДП «УкрНДНЦ».
20. International Organization for Standardization. (2015). *ISO 5074:2015 Hard coal. Determination of Hardgrove grindability index*. ISO.
21. International Organization for Standardization. (1980). *ISO 556-80 Coke (greater than 20 mm in size)—Determination of mechanical strength*. ISO.
22. International Organization for Standardization. (2006). *ISO 18894:2006 Coke—Determination of coke reactivity index (CRI) and coke strength after reaction (CSR)*. ISO.
23. ДСТУ 7601:2014. (2014). *Метод визначення вологи в аналітичній пробі*. ДП «УкрНДНЦ».