

9. **Kodjaspirov, G.E.** Effect of thermomechanical processing on structure and corrosion-mechanical properties of AISI 321 steel [Text] / G.E. Kodjaspirov, A.I. Rudkoy, V.V. Rybin // *Advanced Materials Research*. – 2010 – Vol. 89-91. – P. 769–772. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.89-91.769.
10. **Faraji, G.** Accumulative Torsion Back (ATB) Processing as a New Plastic Deformation Technique [Text] / G. Faraji, H. Jafarzadeh // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2012 – Vol. 27, Issue 5 – P. 507–511. doi: 10.1080/10426914.2011.593235
11. Вплив швидкості деформації на зміну напруження при поздовжньому прокатуванні [Текст] / **В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька** // *Гірничий вісник*. – 2019, Випуск 105. – С. 42 – 46.
12. **Тимофеева М.А.** Исследование и моделирование энергосиловых параметров процесса дрессировки для совершенствования технологий и оборудования дрессировочных станков: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты процессы металлургического производства»/ М.А. Тимофеева. – Череповец, 2006. – 24 с.
13. **Huey–Lin Ho.** A study of improving warped characteristics during flange forging [Text] / Huey–Lin Ho, Su–Hai Hsiang, Chia–Ju Chang // *Journal of materials processing technology* 201. – 2008. – P. 14–18.
14. **Monaghan J.** An investigation of plane-strain lateral extrusion to form components having staggered branches [Text] / J. Monaghan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1998. – 77. – P. 305–313.
15. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D: учебное пособие [Текст] / **В.С.Паршин, А.П. Карамышев, И.И. Некрасов** и др. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 266 с.

УДК 669.162.26

К.О. ШМЕЛЬЦЕР, канд. техн. наук, доц., М.В. КОРМЕР, канд. хім. наук, доц.,
Д.О. КАССИМ, д-р техн. наук, проф., І.А. ЛЯХОВА, канд. техн. наук, доц.
Державний університет економіки і технологій

КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ КОКСУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЙОГО МЕТАЛУРГІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Мета. Підвищення показників якості коксу при обмеженні переведення доменного коксу у відсів (зниження втрат доменного коксу) за рахунок установки оптимального кута нахилу безперервно або періодично працюючого відкритого або закритого промислового циліндричного похилого барабана-стабілізатора, який забезпечує необхідне число обертів для механічної обробки коксу.

Методи дослідження. Механічна обробка коксу у барабані Мікум.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб механічної обробки доменного коксу для поліпшення вихідних показників його якості M_{25} , M_{10} і класу >80 мм у промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі. Запропонований агрегат може замінити валковий грохот та використовуватися на коксових сортувальнях в доменному або коксовому цехах для підвищення холодних показників якості коксу для доменної плавки.

Практична значимість. Перевагою та відмінністю методу є те, що кут нахилу барабана-стабілізатора до горизонту і кількість його обертів вибирають з оптимального числа обертів випробувального барабана Мікум по динаміці поліпшення вихідних показників якості коксу за кожен 1-2 оберти барабана з урахуванням сум добуток показників якості на коефіцієнти впливу кожного показника і на величину питомої витрати коксу в доменній печі. Кількість обертів барабана-стабілізатора обмежують величиною втрат коксу для доменної плавки, не допускаючи збільшення класу <25 мм більше 3,0-3,5% від вихідної величини.

Результати. Використання процесу механічної обробки кусків коксу дозволяє не тільки стабілізувати властивості коксу, а й істотно поліпшити їх аж до отримання заданих, бажаних показників гранулометричного складу, міцності і стійкості до тертя. Вибір раціональних параметрів технології стабілізації показників якості коксу в промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі з урахуванням недопущення великих втрат доменного коксу дозволяє значно знизити собівартість чавуну в доменній плавці.

Ключові слова: технологічні властивості вугільної шихти, коксування, доменний кокс, гранулометричний склад, дробимість, стиранність, барабан-стабілізатор.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-42-47

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Металургійним підприємствам в умовах світової економічної кризи для того, щоб успішно конкурувати на ринку, необхідно знижувати собівартість продукції. Найчастіше цю задачу підприємства намагаються вирішити за рахунок зменшення витрат на виробництво, в деяких випадках навіть, якщо це шкодить технології. Але раціональним та перспективним є вдосконалення та впровадження нових технологічних процесів та устаткування, а також зниження витрат на паливно-енергетичні ресурси для виробництва

основних видів продукції. В доменній плавці до таких високоефективних технологій належить вдування пиловугільного палива (ПВП) у кількості до 250 кг/т чавуну та технологія використання кускового антрациту у кількості до 90 кг/т чавуну з коефіцієнтом заміни коксу кг/кг [1, 2]. При цьому необхідно підкреслити, що друга технологія забезпечує значний економічний ефект за рахунок зниження витрати коксу та собівартості чавуну при повній відсутності додаткових капіталовкладень, як цього потребує впровадження технології вдування ПВП. Зазначені технології потребують насамперед підвищення якості коксу. Але при відсутності можливості впровадження таких технологічних заходів як термічна сушка та виробництво формованого коксу зростає актуальність вдосконалення існуючих технологічних прийомів та устаткування.

Для вирішення задач керування якістю коксу необхідно здійснювати контроль якості вугільної сировини, товарного продукту та всіх технологічних стадій цього виробництва. К сучасним методам керування якістю коксу можна віднести наступні: контроль вологості та гранулометричного складу сировини; оптимізацію вугільних шихт з урахуванням хімічного складу мінеральної частини їх компонентів; контроль виходу коксу; регулювання режиму гасіння коксу; контроль готовності коксу за показником виходу летких речовин, значенням питомого опору та температурі; механічна обробка коксу з метою стабілізації та поліпшення його металургійних властивостей.

Аналіз досліджень і публікацій. В роботах [3-6] сформульовані основні вимоги до гранулометричного складу коксу, вивчено вплив сировинних та технологічних факторів на розподілення коксу за класами крупності. В процесі виробництва коксу шляхом шарового коксування утворюються куски різної крупності: від < 10 мм до > 150 мм. При цьому в залежності від спікливості вугільної шихти, швидкості коксування кількість кусків різної крупності може коливатися в досить широких межах, особливо кусків розміром > 80 мм (от 1 до 40 %).

Однією з основних вимог до якості коксу для великих доменних печей є висока рівномірність та однорідність його ситового складу. Чим однорідніше за крупністю кокс, тим більш рівномірно він згоряє у фурм, більш плавно опускається в окислювальну зону без підвисання та підстоїв. Висока однорідність коксу досягається звуженням меж його крупності. З урахуванням ситового складу агломерату та окатишів нижню межу крупності кусків коксу необхідно встановлювати на рівні 25-30 мм. Оскільки матеріали не заповнюють пустоти між кусками при співвідношенні до 2,0, верхня межа не повинна перевищувати 60 мм. Така однорідність ситового складу може бути забезпечена за рахунок його стабілізації шляхом механічної [7].

Високий вихід фракції коксу > 80 мм, як правило, потребує післяпичної обробки: дроблення всього рампового коксу при транспортуванні на тракті коксоподачі або виділення > 80 мм та його дроблення за допомогою зубчастих дробарок. Процес дроблення всього рампового коксу або виділення на валковому грохоті > 80 мм супроводжується втратами товарного коксу (КД крупністю > 25 мм або > 40 мм) через складність регулювання відстані між валками зубчастої дробарки.

Згідно з висновками роботи [8] механічна обробка може бути економічно обґрунтована у двох випадках: А) якщо економія при доменній плавці з використанням обробленого металургійного коксу (або окремих його класів крупності) внаслідок зменшення його питомої витрати на виплавку чавуну та приросту виробництва чавуну перевищує збитки, пов'язані з дробленням крупного коксу та утворенням додаткової кількості дрібних класів; Б) якщо кокс, отриманий з недефіцитного та більш дешевого вугілля, після механічної обробки если кокс, виявиться достатньо міцним та забезпечить техніко-економічні показники доменної плавки, які перекрыють можливі збитки при виробництві коксу.

В залежності від фізико-механічних характеристики коксу та його окремих фракцій іноді раціонально піддавати механічній обробці лише крупні, найменш міцні класи (> 80 мм або > 60 мм) з метою реалізації тріщин, збільшення міцності та зменшення утворення дрібняку.

При постійному технологічному режимі коксування факторами впливу на крупність коксу, його гранулометричний склад є зольність вугільної сировини, а також насипна густина, яка у свою чергу, залежить від вологості та ступеню подрібнення (вміст класу 0-3 мм) шихти [6,9]. Таким чином, на сучасному етапі основним напрямком поліпшення якості доменного коксу на коксохімічних підприємствах були та залишаються фактори, які обумовлені властивостями вугільної сировини та технологією коксового виробництва. Але цей процес дуже складно контролювати. Альтернативний варіант, який забезпечить керування властивостями коксу та досягнення необхідних показників його міцності та гранулометричного складу, це механічна обробка (стабілізація) коксу.

Теорія управління гранулометричним складом і міцністю коксу базується на математичному описі процесу його руйнування в залежності від величини і характеру механічного навантаження, а також початкових властивостей коксу і їх змін. Однак, оскільки руйнування відбувається в різних апаратах по-різному, названі константи залежать від типу в апараті. Зіставлення різних агрегатів, які можуть здійснити механічний вплив на кокс за умови зміни його інтенсивності, показало, що найбільш перспективним є барабан [10].

Відомий спосіб механічної обробки доменного коксу, що включає поліпшення вихідних показників його якості M_{25} (M_{40}), M_{10} і класу >80 мм в безперервно або періодично працюючому відкритому чи закритому промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі [10].

Недолік відомого способу механічної обробки доменного коксу в безперервно або періодично працюючому відкритому чи закритому промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі полягає в тому, що поліпшення вихідних холодних показників його якості, підвищення показників M_{25} (M_{40}) і зменшення показника M_{10} і вмісту класу >80 мм, не обмежують величиною втрат доменного коксу у відсів, що позначається на зменшенні (дефіциті) кількості коксу, який подається в доменний цех, та викликає перевитрату коксу в доменній плавці і підвищення питомих витрат на виробництво чавуну.

Постановка задачі. Актуальним є завдання підвищення показників якості коксу при обмеженні переведення доменного коксу у відсів (зниження втрат доменного коксу) за рахунок установки оптимального кута нахилу безперервно або періодично працюючого відкритого або закритого промислового циліндричного похилого барабана-стабілізатора, який забезпечує необхідне число обробляючих кокс обертів.

Викладення матеріалу та результати. Найбільш прийнятним для класифікації та управління якістю коксу є агрегат отримання заданих властивостей коксу – АОЗВК, який виконує функції стабілізації коксу, класифікації та поліпшення його якості за вибраним показником до необхідного рівню. Пропонується встановлення вказаного агрегату замість валкового грохоту. За конструкцією – це барабан, циліндрична поверхня якого виконана у вигляді профільних стрижнів з відстанню між ними, що залежить від крупності надрешітної частини коксу, яка задається у вигляді змінних карт з отворами заданого розміру і форми.

Матеріал, що знаходиться всередині обертового барабана, в залежності від частоти обертання може перебувати в каскадному або водоспадному, або центрифужному режимах. Центрифужний режим барабана діаметром D створюється при частоті обертання, яка дорівнює критичній. У цих умовах виникає відцентрова сила притискає матеріал до стінки барабана. Обертання матеріалу відбувається разом з барабаном без взаємного переміщення (рис. 1).

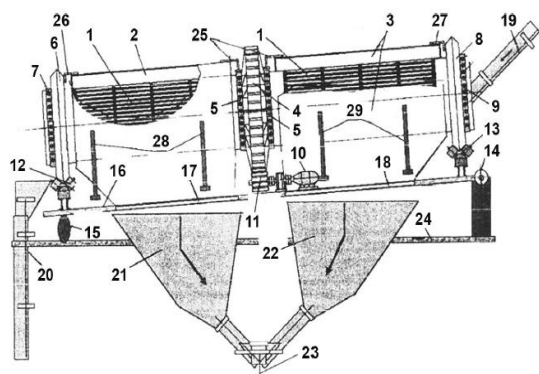
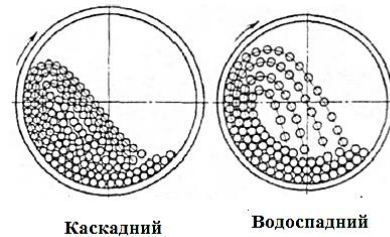


Рис.1. Агрегат отримання заданих властивостей коксу (АОЗВК): 1 – класифікаційний барабан; 2,3 – передній і задній кожух; 4, 5, 25 – відома основна шестерня приводу, її кріплення до барабана і фіксатор; 6, 8, 26, 27 – передній та задній опорний кільцевий обід барабану та їх кріплення; 7, 9 – кріплення опорних ободів к барабану; 10 – електропривод; 11 – відома шестерня приводу; 12, 13 – роликові опори; 14, 16 – система зміни кута нахилу; 15 – площадка розміщення барабану; 17, 18 – передній і задній пройоми для барабанного провалу; 19 – жолоб для коксу; 20 – розвантажувальний жолоб барабану; 21, 22, 23 – жолоби розвантаження підбарабанного провалу; 24 – будівельна площадка розміщення АОЗВК; 28, 29 – опора переднього і заднього кожуха

Схема руху матеріалу в обертовому барабані при каскадному і водоспадних режимах представлена на рис.2. При каскадному режимі (А), який реалізує при швидкості, що дорівнює 50-60 % критичної, матеріал, піднімаючись на невелику висоту, скочується вниз. При цьому відбувається стирання за рахунок взаємного тертя кусків матеріалу і деяке роздавлювання під впливом тиску верхніх шарів.

Рис.2. Схема руху продукту в барабані, який обертається

При водоспадному режимі, який здійснюється при швидкості обертання барабана 75-88 % від критичної, куски матеріалу переходять з кругової траєкторії на параболічну. Відбувається руйнування кусків за рахунок удару при падінні і частково стиранням. Змішаний режим здійснюється як падінням, так і перекочуванням кусків матеріалу, що спостерігається при частоті обертання барабанного млина 60-75 % від критичної [10, 11].



Управління АОЗВК, з метою поліпшення якості коксу як в плані стабілізації властивостей насипної густини, так і для досягнення одного з обраних показників заданої величини, здійснюють зміною кута нахилу агрегату.

Так, в разі необхідності поліпшення гранулометричного складу коксу, зокрема зменшення вмісту фракції >80 мм з 11 до 3 % знаходять кількість обертів випробувального барабану n_M , яке потребується для зміни кількості вказаної фракції. Для цього вирішуємо рівняння [11, 12] відносно n_M

$$C_n = C_0 e^{-m_1 n^{t_1}}.$$

Звідки, при $C_n = 3$, $n_M = 22,5$ обертів.

Обчислюємо

$$n = \frac{\sqrt{\pi^2 n_M^2 - L^2}}{\pi D} = \frac{\sqrt{3,14^2 \cdot 22,5^2 - 14^2}}{3,14 \cdot 2} = 11,0.$$

Знаходимо

$$\sin \alpha = \frac{L}{n \cdot \sqrt{\left(\frac{L}{n}\right)^2 + \pi^2 D^2}} = \frac{14}{11 \cdot \sqrt{\left(\frac{14}{11}\right)^2 + 9,86 \cdot 4}} = 0,202,$$

звідки $\alpha \approx 11,5$ градусів.

Встановлюючи барабан-стабілізатор під кутом 11,5 градусів, обробляючи кокс, поліпшуємо його якість за гранулометричним складом.

Недолік наведеного способу механічної обробки доменного коксу, що включає поліпшення вихідних показників його якості M_{25} (M_{40}), M_{10} і класу >80 мм в безперервно або періодично працюючому відкритому чи закритому промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі [11], полягає в тому, що поліпшення вихідних показників його якості, підвищення показників M_{25} (M_{40}) і зменшення показника M_{10} і вмісту класу >80 мм, не обмежують величиною втрат доменного коксу у відсів, що позначається на зменшенні (дефіциті) кількості коксу, який подається в доменний цех, та викликає перевитрату коксу в доменній плавці і підвищення питомих витрат на виробництво чавуну.

Для підвищення показників якості коксу при обмеженні переведення доменного коксу у відсів (зниження втрат доменного коксу) необхідно забезпечити вибір та установку оптимального кута нахилу безперервно або періодично працюючого відкритого або закритого промислового циліндричного похилого барабана-стабілізатора, який забезпечує необхідне число обробляючих кокс обертів.

У запропонованому способі [11, 12] механічної обробки доменного коксу для поліпшення вихідних показників його якості, наприклад, збільшення M_{25} до 88-90 % і зменшення M_{10} до 5-6 %, а класу >80 мм 3-4 % здійснюють в безперервно або періодично працюючому відкритому чи закритому промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі.

При цьому для забезпечення поліпшення цих показників якості коксу необхідно визначити і встановити барабан-стабілізатор на певний кут його нахилу до горизонту (α) і вибрати необхідну кількість його обертів (n), що з одного боку дозволить поліпшити показники, а з іншого – не допустити переведення кусків коксу у відсів, тобто досягти зменшення виходу класу <25 мм і підвищення кількості придатної фракції коксу 25-80 мм, яка завантажується в доменну піч. Для встановлення оптимальних α і n для обробки кусків коксу в стаціонарному барабані-стабілізаторі спочатку здійснюють випробування коксу, з визначенням змін від вихідних M_{25} , M_{10} і класу >80 мм, в барабані Мікум після 1-2 його обертів.

На підставі цих випробувань визначають оптимальне число обертів (n_M), для чого по динаміці поліпшення вихідних показників якості коксу за кожен 1-2 оберти барабана визначають суму добутків

показників якості коксу на коефіцієнти впливу кожного показника на зниження питомої витрати коксу ($M_{25} +1\% -0,6\%$; $M_{10} -1\% -2,8\%$ та $>80\text{ мм} -1\% -0,2\%$) і на величину питомої витрати коксу в доменній печі, на яку подають дану партію стабілізованого коксу. Отриману суму економії коксу в доменній плавці за рахунок його стабілізації порівнюють з величиною втрат доменного коксу, тобто постійно контролюють переведення кусків коксу в клас $<25\text{ мм}$.

У зв'язку з цим кількість обертів барабана-стабілізатора обмежують величиною втрат доменного коксу, не допускаючи збільшення класу $<25\text{ мм}$ більше $3,0-3,5\%$ від вихідної величини.

Вибравши оптимальну кількість обертів n_m визначають оптимальні α і n для барабана-стабілізатора за формулами

$$\alpha = \arcsin L / \pi n_m, \quad (1)$$

де α – кут нахилу барабана, град.; L – довжина барабана, м; n_m – оптимальна кількість обертів барабана Мікум,

$$i \quad n = n_m / D, \quad (2)$$

де D – діаметр барабана-стабілізатора.

Так, на доменній печі, наприклад, обсягом 5000 м^3 , яка виплавляє 9390 тонн чавуну на добу, при питомій витраті коксу – 450 кг/т здійснюють підвищення якості коксу шляхом його стабілізації в безперервно або періодично працюючому відкритому чи закритому промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі. Можливим варіантом використання є встановлення барабану стабілізатору замість валкового грохоту на коксортувальні в коксовому цеху.

Різниця (Δ) показників M_{25} , M_{10} і кількість в коксі фракції $>80\text{ мм}$, що утворилася в результаті механічної обробки, множилися на коефіцієнти впливу кожного показника і на величину питомої витрати коксу в доменній печі. Всі результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Зміна показників властивостей коксу та зниження його питомої витрати в результаті механічної обробки

n_m	Зміна показників			Зниження питомої витрати коксу, кг/т				Відходи
	$\Delta (>80)$	ΔM_{25}	ΔM_{10}	$\Delta (>80) \cdot 0,2 \cdot 4,5$	$\Delta M_{25} \cdot 0,6 \cdot 4,5$	$\Delta M_{10} \cdot 2,8 \cdot 4,5$	Δ	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,92	0,82	0,44	3,53	2,22	5,55	11,30	0,84
4	4,97	1,13	0,65	4,47	3,05	8,15	15,68	1,37
6	5,66	1,37	0,80	5,10	3,70	10,14	18,93	1,82
8	6,19	1,57	0,94	5,57	4,24	11,79	21,60	2,22
10	6,61	1,75	1,05	5,95	4,72	13,21	23,88	2,60
12	6,96	1,91	1,15	6,26	5,15	14,47	25,89	2,95
14	7,26	2,05	1,24	6,53	5,54	15,61	27,68	3,28
16	7,52	2,19	1,32	6,77	5,90	16,64	29,31	3,60
18	7,75	2,31	1,40	6,98	6,24	17,59	30,80	3,90
20	7,96	2,43	1,47	7,16	6,55	18,47	32,18	4,19
22	8,15	2,53	1,53	7,33	6,84	19,29	33,46	4,48
24	8,32	2,63	1,59	7,48	7,11	20,06	34,66	4,75
25	8,40	2,68	1,62	7,56	7,25	20,43	35,23	4,89

З табл. 1 видно, що сумарне зниження питомої витрати коксу спочатку змінюється за 2 оберти на $11,3\text{ кг/т}$ чавуну, а потім зменшується. Після 22 обертів ефект зменшився до $1,2\text{ кг}$ за 2 оберти. В сумі, якщо оцінити ефект зниження витрати коксу на тонну чавуну, що представляє собою пряме зниження собівартості чавуну, при обробці в 14 обертів і умовної вартості тони коксу $3600\text{ \$/т}$, зниження собівартості складе $3600 \cdot 0,02768 \approx 99,6\text{ \$/т}$. При цьому втрати доменного коксу складуть всього $3,28\%$ [11, 12].

Барабан-стабілізатор для механічної обробки коксу може бути довжиною $5-8\text{ м}$ і діаметром від $1,75$ до $2,5\text{ м}$ залежно від продуктивності барабана і меж регульованої частоти його обертання. На доменній печі об'ємом 5000 м^3 з урахуванням її продуктивності можна використовувати барабан-стабілізатор довжиною $8,5\text{ м}$ і діаметром 2 м , тоді кут його нахилу до горизонту встановлюють рівним

$$\alpha = \arcsin L / \pi n_m = \arcsin 8,5 / 3,14 \cdot 14 = 11\text{ градусів},$$

а кількість його обертів буде дорівнювати

$$n = n_m / D = 14 / 2 = 7.$$

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, вибір раціональних параметрів технології стабілізації показників якості коксу в промисловому циліндричному похилому барабані-стабілізаторі з урахуванням недопущення великих втрат доменного коксу дозволяє значно знизити собівартість чавуну в доменній плавці. При річному виробництві чавуну на печі об'ємом 5000 м³ рівному 3,5 млн тонн отриманий прибуток складе 34,86 млн \$.

Отже, використання та вдосконалення процесу механічної обробки кусків коксу є актуальним напрямком досліджень та дозволить не тільки стабілізувати властивості коксу, а й істотно поліпшити їх аж до отримання заданих, бажаних показників гранулометричного складу, міцності і стійкості до тертя.

Список літератури

1. **Лялюк В.П.** Проблемы реализации вдувания пылеугольного топлива и альтернативных технологий доменной плавки / В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, А.К. Тараканов // Черная металлургия: Бюллетень института "Черметинформация". – 2011. – №11. – С. 20-26.
2. **Товаровский И.Г.** Альтернативные коксоберегающие технологии – перспектива развития доменного производства / И.Г. Товаровский, В.И. Большаков, В.П. Лялюк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №2. – С. 10-13.
3. **Lyalyuk, V.P.** Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 1. Analysis of changes in particle size distribution of coke on the example of the coke plant in Krivyi Rig / V.P. Lyalyuk, K.O. Shmeltser, D.A. Kassim, I.A. Lyakhova // Petroleum and coal. – 2019. – Vol. 62(1). – pp. 173-177.
4. **Lyalyuk V.P.** Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 2. Granulometric composition of the coke as a function of the coal batch properties / V.P. Lyalyuk, K.O. Shmeltser, D.A. Kassim, I.A. Lyakhova // Petroleum and coal. – 2019. – Vol. 62(2). – pp. P. 309-315.
5. **Lyalyuk V.P.** Changes in granulometric composition of blastfurnace coke / V.P. Lyalyuk, K.O. Shmeltser, D.A. Kassim, I.A. Lyakhova // Coke and Chemistry. – 2013. – vol. 56. – pp. 456–460.
6. **Лялюк В.П.** О гранулометрическом составе кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер, Ляхова И.А., Д.А. Кассим // Вісник Криворізького національного університету. Серія: Технічні науки. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет – 2014. – вип.36. – С. 141–146.
7. Требования к качеству кокса для мощных доменных печей. Кокс и химия. – 1976. – №2. – С.8-10.
8. **Лазовский И.М.** Эффективность механической обработки кокса восточных коксохимических предприятий / И.М. Лазовский, Е.В. Беляев, Т.П. Варшавский, А.П. Фомин, П.В. Акулов, В.П. Холопцев // Кокс и химия. – 1970. – №11. – С.20-24.
9. **Лялюк В.П.** О рациональной степени дробления угольных шихт для коксования с высоким содержанием жирных углей / Лялюк В.П., Соколова В.П., Шмельцер Е.О., Кассим Д.А., Ляхова И.А. // Гірничий вісник. Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет. – 2013. – вип.97. – С. 170–173.
10. **Мучник Д.А., Лялюк В.П.** Высокоэффективная внекамерная технология повышения качества кокса для доменной плавки. ФЛ-П Чернявский Д.А., Кривой Рог: 2019. – 184 с.
11. **Lyalyuk, V.P., Shmeltser, E.O., Kassim, D.A.** Improving the technology production of coke for blast furnace smelting. Octan Print, Praga: 2022. – 197 p.
12. Патент України, 2018, № 127112. Спосіб механічної обробки доменного коксу / **Мучник Д.А., Товаровський Й.Г., Лялюк В.П., Шмельцер К.О.** Опубл. бюл. № 13.

УДК 622.752:544.722.23

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., Д.О. РУМНИЦЬКИЙ, аспірант,
Л.В.СКЛЯР, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

СЕГРЕГАЦІЯ ЧАСТИНОК ПРИ ГРАВІТАЦІЙНІЙ СЕПАРАЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Метою даної роботи є аналіз механізмів сегрегації у процесі гравітаційної сепарації руди для розробки методики проведення досліджень із встановлення закономірностей процесу розділення частинок на похилій поверхні гвинтових сепараторів, які засновані на особливостях розширювання зернистого матеріалу в залежності від крупності та щільності частинок.

Методи дослідження. Узагальнення, аналіз науково-технічної інформації стосовно сегрегації частинок у гравітаційних сепараторах різного типу для дослідження процесу розшарування та концентрації частинок у потоці пульпи, що дозволить створити оптимальні умови розділення мінеральних зерен за крупністю та щільністю на похилій поверхні гвинтового сепаратору.

Наукова новизна. Запропоновано механізм розділення частинок на похилій поверхні гвинтових сепараторів, який на відміну від існуючих, враховує гідродинамічні та відцентровані сили, співвідношення яких міняється в залежності від зміння швидкості течії пульпи та перерозподілу концентрації мінеральних зерен різної крупності.