

В. В. Коваль¹, Д. В. Мірошніченко^{1,2}, І. М. Авдеюк², О. В. Космінський²

¹ Державне підприємство “Український державний науково-дослідний
вуглехімічний інститут (УХІН)”, вугільний відділ
kovalen79@gmail.com

² Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,
кафедра технології переробки нафти, газу та твердого палива
dvmir79@gmail.com

ВПЛИВ СЕГРЕГАЦІЇ ВУГІЛЛЯ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШИХТИ У ПРОЦЕСІ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ

<https://doi.org/1023939/ctas2025.01.074>

Простежено, що зольність вугілля за класами крупності розподілена нерівномірно. Клас 25–50 мм має найвищий середній вміст золи (13,1 % мас.), але демонструє значну мінливість (6,8–32,1 % мас.). Менші класи (< 0,5 мм) мають більш високий вміст золи (до 15,1 % мас.) порівняно із середніми розмірами (в середньому 10,9 % мас.). Було підтверджено стабільність технологічних властивостей вугільної шихти під час закачування, натомість спостерігаються розбіжності у розмірі частинок, виході летких речовин і зольності, що збільшувалися від центру башти до її зовнішніх рядів. Нерівномірний розподіл зольності вугільної шихти призводить до утворення зон коксу з підвищеним вмістом мінеральних включень, погіршення механічної міцності коксу (M_{10} , M_{40}) та до шкідливого впливу домішок на доменну плавку, зокрема на шлакування та витрати коксу.

Ключові слова: сегрегація, вугільна башта, зольність, класи крупності, відбір, розподілення, гранулометричний склад.

Вступ

Сегрегація вугілля – це процес, за якого відбувається його розподіл на фракції залежно від певних фізичних та хімічних властивостей, таких як розмір зерен (розмірна сегрегація), вмісту домішок за питомою щільністю (щільнісна сегрегація) або іншими характеристиками, що впливають на його якість (сегрегація за якісними показниками). Цей процес відіграє важливу роль у промисловості, де вугілля використовують як паливо та сировину, особливо для енергетичного та металургійного секторів. Сегрегація вугілля є необхідним процесом, що дозволяє підвищити ефективність його використання, оптимізувати витрати, підвищити продуктивність і знизити екологічні ризики, проте потребує відповідального підходу та вдосконалення технологій для мінімізації негативного впливу на довкілля [1]. З огляду на виснаження ресурсів високоякісного вугілля, важливим є його чисте та ефективне викорис-

тання, зокрема шляхом флотації [2]. Однак, незважаючи на важливість сегрегації, є певні виклики, з якими стикаються виробники. Так цей процес потребує спеціалізованого обладнання, яке часто є дорогим і для багатьох шахт виявляється фінансово обтяжливим [3].

Наукові дослідження у сфері сегрегації вугілля охоплюють різні методи, які забезпечують ефективне розділення часток вугілля за розміром, густиною і хімічними властивостями. Наприклад, у статті [4] висвітлено один із важливих підходів – використання сухого збагачення, яке стає особливо актуальною через обмеження водних ресурсів у певних регіонах, а розподіл за розміром частинок реалізується шляхом просіювання [5]. У цій статті також розглянуто вплив розподілу частинок вугілля на такий технологічно важливий показник, як насипна щільність шихти для коксування, яка може суттєво впливати на якість отриманого коксу.

В іншій своїй праці Сільва та ін. [6] обґрунтовує важливість розподілу частинок за розміром, пов'язаного з петрографічною характеристикою. Оскільки інертні матеріали, присутні у вугіллі, мають вищу твердість і стійкість до дроблення, вони зосереджені у більшому діапазоні розмірів, тоді як реакційноздатні мацерали м'якші і демонструють антагоністичну поведінку.

Розділення між вугільними та пустими мінералами в основному досягається на основі їх відмінностей у щільності або гідрофобності. Однак ефективність щільнісного розділення зменшується для дрібних частинок [7, 8].

Для гравітаційного ущільнення шихти важливий гранулометричний склад. Наприклад, рекомендована частка зерен < 3 мм – 73–87 %, з вологістю < 10 % мас. [9]. Дослідження, проведені за допомогою планового експерименту, показують, що для вмісту води $W^f = 6 - 8$ % мас. максимальне ущільнення досягається для двох наборів зерен 0,5–1,0 мм і більше 3 мм у приблизному співвідношенні 1:1 [10]. Дослідження університету Ньюкасла під керівництвом Макферсона демонструють, що рефлекс-класифікатори та аерокласифікатори ефективно знижують вміст золи до 10 % і підвищують якість продукту, особливо при обмеженому доступі до води [11].

Сегрегація також впливає на самозаймання вугілля в бункерах – зменшує час займання та впливає на теплові зони, що підтверджено чисельним моделюванням [12].

Дослідження бінарних сумішей свідчать, що поведінка змішування та сегрегації частинок бінарних сумішей виявилась менш чутливою до зміни співвідношення розмірів частинок, ніж до співвідношення щільності частинок [13]. Цей висновок підтверджують й автори досліджень [14–16]. Але ці результати, як і в роботі [13], також отримані за допомогою моделювання процесу, а висота шару не перевищувала 30 см.

Поведінка сегрегації дрібних частинок вугілля в киплячому шарі збагачуваного вугілля була досліджена в роботі [17]. Результати виявили, що флотація та седиментація частинок значною мірою залежали від щільності частинок дрібного діапазону. Масова частка в кожному шарі показала квадратичне збіль-

шення вздовж висоти шару для частинок вугілля. Для частинок пустої породи велика фракція осідає на дні. Зі зменшенням розміру частинок як сегрегація, так і явища стратифікації щільності значно погіршилися. Але в цьому дослідженні враховували діапазон розмірів лише 1–8 мм.

Цікаве дослідження впливу мацерального складу вугілля на процеси його сегрегації та дроблення провели автори роботи [18]. На підставі дослідів встановлено, що за тих самих умов вітриніт легше піддається більш глибокому дробленню порівняно з інертинітом. Завдяки меншим розмірам вітриніт і зола схильні до виходу з циклонного сепаратора, а інертиніт і зола, завдяки високій щільності, схильні до накопичення в нижній частині вугільного відвалу. Сегрегація мацералів відбувається в процесі подрібнення і має значний вплив на характеристики вугільного порошку. З точки зору поверхневих функціональних груп мацеральна сегрегація має більший вплив, ніж механохімічні ефекти.

Моделюванню процесу сегрегації вугільних часточок присвячені також роботи [19–21]. Отже, сучасні наукові праці демонструють широкий спектр підходів до сегрегації вугілля, які сприяють підвищенню якості вугільного продукту та знижують залежність від водних ресурсів, але як ми побачили всі вони є чи то математичним моделюванням чи моделюванням процесу в обмежених лабораторних умовах, а деякі з перерахованих авторів безпосередньо вказують на необхідність проведення подальших експериментів у промислових умовах. Ми ж мали можливість дослідити процес сегрегації вугілля в реальних умовах промислового коксохімічного підприємства.

Мета дослідження – дослідити процес сегрегації вугілля в умовах реального промислового коксохімічного підприємства, як за крупністю, так і за основними параметрами якості вугілля, зокрема, зольність, вихід летких речовин, вміст сірки тощо. Це дасть змогу підтвердити або спростувати закономірності розподілу часточок вугілля, встановлені раніше в лабораторних умовах та/або математичним моделюванням. Водночас ці закономірності дозволять оптимізувати процес промислової підготовки вугілля для подальшого використання.

Матеріали та методи досліджень

Матеріали

Як об'єкт досліджень розглядали вугільні концентрати, які входять до сировинної бази ВПЦ-2 ПрАТ "АКХЗ":

1. " ", марка "Г";
2. "В", марка "Г";
3. "С", марка "Г";
4. "D", марка "Г";
5. "Е", марка "Ж";
6. "F", марка "Ж";
7. "G", марка "Ж";
8. "H", марка "Ж";
9. "I", марка "К";
10. "J" марка "К";
11. "K", марка "К";
12. "L", марка "ПС".

З наведеного переліку можна констатувати, що до складу шихти входять 4 газових, 4 жирних, 3 коксових, а також 1 пісне вугілля марки "ПС". Представлені проби вугільних концентратів були проаналізовані комплексом стандартизованих методик з визначенням даних технічного (A^d , S^d , V^d , V^{daf}), петрографічного (R_0 , V_t , S_v , I , L , $\sum FC$, рефлектограма вітриніту) та гранулометричного (+50; 25–50; 13–25; 6–13; 3–6; 1–3; 0,5–1,0; менше 0,5 мм) аналізів, включаючи визначення показників зольності, виходу летких речовин отриманих класів крупності, а також коефіцієнта розмолотості за Хардгровим і індексу Рога.

Методи

У процесі дослідження визначали такі показники якості вугілля: волога аналітична – W^a , зольність – A^d , вміст сірки (на сухий беззольний стан) – S^d , вміст летких речовин (на сухий – V^d та на сухий беззольний стан – V^{daf}), середній показник відбиття вітриніту – R_0 , вміст вітриніту – V_t , вміст семівітриніту – S_v , вміст інертиніту – I , вміст липтиніту – L , сума фюзенізованих компонентів – $\sum FC$, пластометрична усадка – X , товщина пластичного шару – Y , середній діаметр часток – d_s , коефіцієнт розмолотості за Хардгровим – HGI , спіклива здатність за Рога – RI .

Для визначення якісних показників вугілля та вугільних шихт, значення яких наведені в табл. 1–12, використовувалися такі стандартні методи.

Відбір та підготовки проб до лабораторних випробувань:

ISO 18283:2022 Coal and coke – Manual sampling;

ДСТУ 4096–2002 Вугілля буре, кам'яне. Антрацит. Горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань;

ДСТУ 8699:2016 (ISO 18283:2022) Вугілля кам'яне, антрацит і кокс. Відбирання проб вручну. Дані технічного аналізу (W^a , A^d , S^d , V^d , V^{daf}):

ISO 17246:2010 Coal – Proximate analysis;

ISO 334:2020 Coal and coke – Determination of total sulfur;

ISO 589:2008 describes two methods for determination of the total moisture content of hard coals, a two-stage method and a single-stage method;

ISO 1170:2020 Coal and coke – Calculation of analyses to different bases.

Дані петрографічного аналізу (R_0 , V_t , S_v , I , L , $\sum FC$, рефлектограма вітриніту):

ДСТУ 7722:2015 Кам'яне вугілля. Метод визначення пластометричних показників;

ISO 7404-3:2009 Methods for the petrographic analysis of coals – Part 3: Method of determining maceral group composition;

ISO 7404-5:2009 Methods for the petrographic analysis of coals – Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite.

Дані гранулометричного аналізу (+50; 25–50; 13–25; 6–13; 3–6; 1–3; 0,5–1,0; менше 0,5 мм; d_s):

ISO 1953:2015 Hard coal – Size analysis by sieving.

Коефіцієнт розмолотості за Хардгровим:

ISO 5074:2015 (en) – Hard Coal. Determination of Hardgrove grindability index.

Спіклива здатність за Рога:

ДСТУ 7723:2015 (ISO 335:1974) – Вугілля кам'яне. Визначення індексу спікання методом Рога (Hard coal – Determination of caking power – Roga test).

Класифікація вугілля:

ДСТУ 3472:2015 Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація.

Проведення експерименту

Вугільна башта призначена для прийому, завантаження у відсіки та зберігання готової

вугільної шихти, а також для заповнення бункерів вуглезавантажувального вагона. Вона є спорудою бункерного типу, що складається з кількох відсіків, призначених для вугільної шихти. Верхні надбункерні приміщення вугільної башти призначені для розміщення в них стаціонарного технологічного обладнання для прийому та розподілу по секціях ємнісної частини вугільної шахти та відносяться до вуглепідготовчого цеху. Приміщення працює в режимі підготовки та подачі шихти до вугільної башти, розподіляючи її по секціях. Технологічне обладнання повинне забезпечувати рівномірний розподіл та завантаження ємнісної частини з максимальним виключенням впливу ефекту сегрегації вугільної шихти по крупності. Для забезпечення сталої стабільної роботи коксового та вуглепідготовчого цехів місткість вугільної башти повинна забезпечувати запас шихти для роботи в проектному режимі, достатній для роботи печей протягом двох-трьох змін, і складатися з кількох секцій. Розподіл вугільної башти на секції зумовлений необхідністю проведення регулярних оглядів та ремонтів внутрішніх поверхонь стін, розсікачів та затворів, а також для періодичного зачищення завислої та залипшої до стінок ємності вугільної шихти. Секції вугільної башти обладнують спеціальними пристроями для пневматичного обвалення вугільної шихти, що зависла.

На рис. 1 подано загальну блок-схему проведення експерименту.

Отже, на початку експерименту нами були відібрані та проаналізовані всі вугільні концентрати, що входили до складу вугільної шихти. Коли вугільним цехом було підготовлено вугільну шихту (етапи попереднього та кінцевого дроблення компонентів, їх дозування та змішування), вона стрічковим конвеєром закачувалась до вугільної башти батарей № 7–8; на цьому ж етапі паралельно шихта відбиралась для визначення її початкових параметрів. Відбір відбувався безпосередньо з конвеєрної стрічки перед подачею до вугільної башти. На наступному етапі проводили відбір проб вугільної шихти, що завантажується в бункери вуглезавантажувальної машини, з різних секцій та рядів вугільної вежі протягом 6 годин. Завершальним етапом був аналіз відібраних зразків, їх порівняння та формування висновків.



Рис. 1. Загальна блок-схема проведення експерименту

На ПрАТ “АКХЗ” збудовано двосекційну вугільну башту, де розподіл шихти по секціях здійснюється стаціонарним реверсивним стрічковим конвеєром із клапанами. Під час проведення експерименту відбір проб вугільної шихти з вугільної башти проводили при закачуванні її в бункери вуглезавантажувальної машини з 1, 4 та 5-го рядів 1 та 2-ї секцій.

На рис. 2 зображено схему двосекційної вугільної башти батарей № 7–8 ПрАТ “АКХЗ” зі стаціонарним реверсивним конвеєром та жолобами роздачі шихти.

Аналіз розташування секцій і рядів показує, що 5-й ряд 1-ї секції та 5-й ряд 2-ї секції розташовуються поруч із місцем закачування, 1-й ряд 1-ї секції знаходиться на деякій відстані. Верх вугільної башти батарей № 7–8 не обладнаний розвантажувальним візком, внаслідок чого заповнення 1-ї секції відбувається після повного заповнення 2-ї секції вугільної вежі.

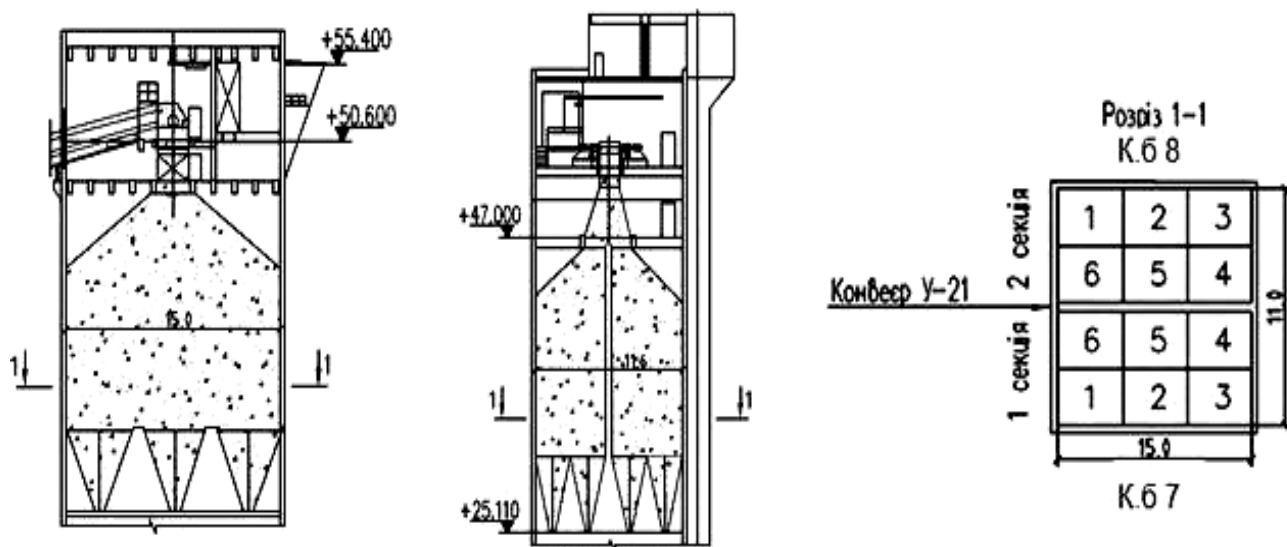


Рис. 2. Вугільна башта з роздачою шихти жолобами та клапанами

Результати досліджень та їх обговорення

У табл. 1–2 наведено технологічні властивості та петрографічні характеристики досліджених вугільних концентратів.

Вугілля газової групи характеризується високими значеннями виходу летких речовин на

рівні 38,6–40,1 % мас., рівнем товщини пластичного шару 5–10 мм, вмістом фюзенізованих компонентів 18–26 %, середнім довільним показником відбиття вітриніту 0,65–0,71 %. Ця група вугілля є найміцнішою, адже коефіцієнт її розмолотності варіюється від 35 до 51 од. *HGI*.

Таблиця 1

Технологічні властивості вугільних концентратів, що входять до сировинної бази ВПЦ-2 ПрАТ «АКХЗ»

№ з/п	Назва компонента	Марка	Технічний аналіз, % мас.					Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолотності за Хардгровим, од.	Співвідношення за Рога, од.
			W^a	A^d	S_t^d	V^d	V^{daf}	x	y		
1	A	Г	2,4	9,0	0,59	36,4	40,1	45	10	35	52
2	B	Г	1,9	8,1	0,52	36,4	39,5	44	10	51	56
3	C	Г	2,7	9,2	0,63	35,9	39,6	40	5	51	17
4	D	ГЖП	1,9	7,7	0,54	35,6	38,6	34	10	49	51
5	E	Ж	1,0	8,7	0,64	29,3	32,1	20	15	56	76
6	F	Ж	1,0	7,6	2,12	29,5	32,0	9	26	67	86
7	G	Ж	0,9	7,2	1,02	30,5	32,8	22	18	67	81
8	H	Ж	1,0	7,4	1,92	28,3	30,5	4	27	78	84
9	I	К	1,0	8,5	0,77	25,8	28,2	16	13	67	68
10	J	К	1,0	7,3	1,77	20,2	21,8	10	14	91	68
11	K	К	1,0	8,2	1,79	21,1	22,9	12	15	84	70
12	L	ПС	0,7	9,0	0,74	16,2	17,8	11	10	80	44

Таблиця 2

**Петрографічна характеристика вугільних концентратів,
що входять до сировинної бази ВПЦ-2 ПрАТ “АКХЗ”**

№ з/п	Назва компонента	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вітриніту, %	Ступені метаморфізму вітриніту, %						
									менше 0,50	0,50 – 0,79	0,80 – 0,89	0,90 – 1,19	1,20 – 1,49	1,50 – 1,69	1,70– 2,59
			Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту												
Vt	Sv	I	L	аFC	R _o	Д	ДГ+Г	ГЖП	Ж	К	ПС	П			
1	A	Г	72	1	25	2	26	0,65	0	100	0	0	0	0	0
2	B	Г	73	1	24	2	25	0,71	0	95	5	0	0	0	0
3	C	Г	81	0	18	1	18	0,65	0	98	2	0	0	0	0
4	D	ГЖП	76	1	22	1	23	0,68	0	97	3	0	0	0	0
5	E	Ж	87	0	10	3	10	1,07	0	0	5	95	0	0	0
6	F	Ж	93	0	5	2	5	1,07	0	0	5	94	1	0	0
7	G	Ж	82	0	16	2	16	1,03	0	0	17	80	3	0	0
8	H	Ж	90	0	9	1	9	1,08	0	0	0	95	5	0	0
9	I	К	89	0	9	2	9	1,14	0	0	0	57	43	0	0
10	J	К	91	0	9	0	9	1,46	0	0	0	5	48	47	0
11	K	К	92	0	8	0	8	1,40	0	0	0	7	59	34	0
12	L	ПС	78	1	21	0	22	1,57	0	0	0	0	28	66	6

Таблиця 3

**Гранулометричний склад вугільних концентратів,
що входять до сировинної бази ВПЦ-2 ПрАТ “АКХЗ”**

№ з/п	Назва компонента	Марка	Гранулометричний склад (мм), % мас.										Середній діаметр часток, мм
			+50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1,0	-0,5	-6	-3	
1	А	Г	1,7	9,6	15,7	19,7	15,6	20,0	5,5	12,2	53,3	37,7	10,9
2	В	Г	–	2,1	14,4	27,2	18,1	16,0	5,2	17,0	56,3	38,2	7,3
3	С	Г	–	4,8	10,4	22,5	21,7	20,3	6,8	13,5	62,3	40,6	7,4
4	Д	ГЖП	2,8	15,1	19,9	20,7	23,0	9,3	2,5	6,7	41,5	18,5	14,8
5	Е	Ж	–	4,6	8,1	15,2	42,8	11,7	4,2	13,4	72,1	29,3	6,9
6	Ф	Ж	–	0,9	3,6	12,0	40,7	16,6	8,1	18,1	83,5	42,8	4,4
7	Г	Ж	–	5,9	18,0	24,3	17,8	16,3	4,7	13,0	51,8	34,0	9,1
8	Н	Ж	–	–	2,4	8,4	11,3	24,8	15,2	37,9	89,2	77,9	2,5
9	І	К	–	2,4	4,5	10,6	15,1	25,0	7,5	34,9	82,5	67,4	4,1
10	Ј	К	–	1,4	3,1	7,7	13,2	27,9	11,5	35,2	87,8	74,6	3,2
11	К	К	–	1,2	3,3	8,1	11,2	22,6	11,1	42,5	87,4	76,2	3,0
12	Л	ПС	–	5,2	7,8	12,7	11,6	20,2	8,4	34,1	74,3	62,7	5,7

Таблиця 4

Зольність класів вугільних концентратів, що входять до сировинної бази ВПЦ-2 ПрАТ “АКХЗ”

№ з/п	Назва компонента	Марка	Зольність, (A^d) % мас.										
			Загальна	Гранулометричний склад (мм), % мас.									
				+50	25–50	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1,0	-0,5	-6	-3
1	А	Г	9,0	6,6	8,9	6,4	6,7	7,4	7,5	9,0	13,9	9,1	9,8
2	В	Г	8,1	–	12,0	6,9	7,7	8,0	8,0	7,8	9,9	8,6	8,8
3	С	Г	9,2	–	16,3	7,2	6,4	7,4	7,7	12,1	15,1	9,7	10,9
4	Д	ГЖП	7,7	7,5	10,0	7,4	6,2	6,2	7,0	9,2	14,5	7,9	10,0
5	Е	Ж	8,7	–	17,1	12,3	8,6	10,0	7,9	7,6	10,0	9,5	8,8
6	Ф	Ж	7,6	–	8,0	5,2	6,0	6,9	6,8	6,3	8,4	7,1	7,4
7	Г	Ж	7,2	–	8,7	6,8	5,9	5,5	6,5	6,8	13,2	7,9	9,1
8	Н	Ж	7,4	–	–	9,0	6,4	6,6	5,9	5,8	9,4	7,5	7,6
9	І	К	8,5	–	9,6	8,4	7,5	6,9	5,5	4,7	11,5	8,2	8,5
10	Ј	К	7,3	–	6,8	6,3	5,9	5,7	5,7	5,6	8,2	6,7	6,9
11	К	К	8,2	–	32,1	16,2	11,8	7,5	6,1	5,9	8,7	7,5	7,5
12	Л	ПС	9,0	–	14,2	14,1	15,2	9,7	8,1	6,3	7,9	8,1	7,8

Українське жирне вугілля “Ф” та “Н” містить максимальну кількість сірки – 1,92–2,12 % мас. серед усіх представлених проб. Також обидва ці зразки характеризуються найбільшою спікливою здатністю за Рога – 84–86 од. та максимальною товщиною пластичного шару, відповідно 26 і 27 мм.

Коксове вугілля має властиві цій марці значення виходу летких речовин 21,8–28,2 % мас., товщини пластичного шару 13–15 мм, середнього довільного показника відбиття вітриніту 1,14–1,46 %.

Вугілля марки ПС має найменший вміст летких речовин – 17,8 % мас. та найбільший середній довільний показник відбиття вітриніту – 1,57 %.

Всі представлені зразки вугілля є петрографічно однорідними, сума фюзенизованих компонентів α_{FC} сягає 5–26 %.

Аналізуючи дані табл. 3, можна констатувати, що в сировинній базі ВПЦ-2 ПрАТ “АКХЗ” наявне вугілля, яке суттєво відрізняється за ситовим складом.

Зокрема, у вугільних концентратах “Н”, “Ј” та “К” вміст класу 0–3 мм становить понад 70 % мас., через що стає доцільним застосування пристроїв для відсіву дрібних класів з метою недопущення їх додаткового подрібнення та “самоопіснення”.

Вугільні концентрати “А”, “В”, “С”, “Д”, “Е”, “Г”, навпаки, є крупними ($d_s = 6,9$ –14,8 мм) та характеризуються помолом на рівні 18,5–40,6 % мас., що передбачає їх ретельне подрібнення при доведенні загального помолу шихти до (80 ± 2) % мас. Решта вугілля займають проміжні значення.

У табл. 4 наведено дані, що стосуються вмісту та зольності класів крупності дослідженого вугілля.

Як можна побачити з даних табл. 4 та рис. 3, зольність за класами крупності розподілена нерівномірно. Зокрема, найбільшим середнім, але вкрай нерівномірними значеннями (6,8–32,1 % мас.) характеризується клас 25–50 мм (13,1 % мас.). Мінімальними значеннями зольності характеризуються класи 0,5–1,0 мм – 7,3 % мас.; 1–3 мм – 6,9 % мас. та 3–6 мм – 7,3 % мас. Також низькі значення зольності спостерігаються в найкрупнішому класі крупності +50 мм (6,6–7,5 % мас.). Втім ця вибірка є найменш представницькою через наявність цього класу лише у двох пробах із 12 досліджених.

Водночас зольність дрібних (менше 0,5 мм) класів відібраного вугілля значно вища, ніж в середніх класах крупності (середнє значення – 10,9) і досягає 15,1 % мас. Наочно цей факт добре видно на рис. 4, на якому зображено розподіл зольності вугілля в діапазоні 0,25–4,5 мм крупності його часточок.

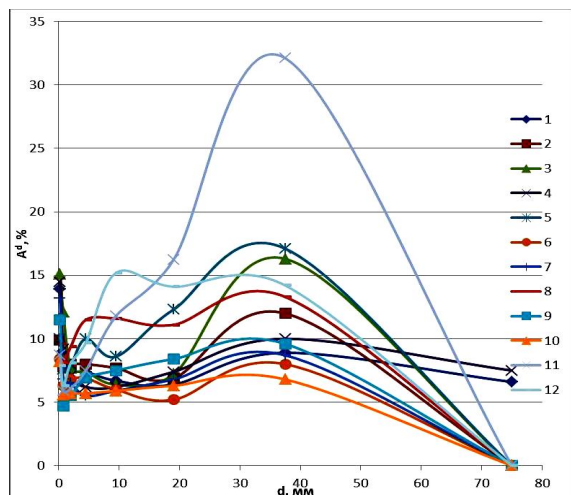


Рис. 3. Розподіл зольності вугілля за класами крупності його часточок

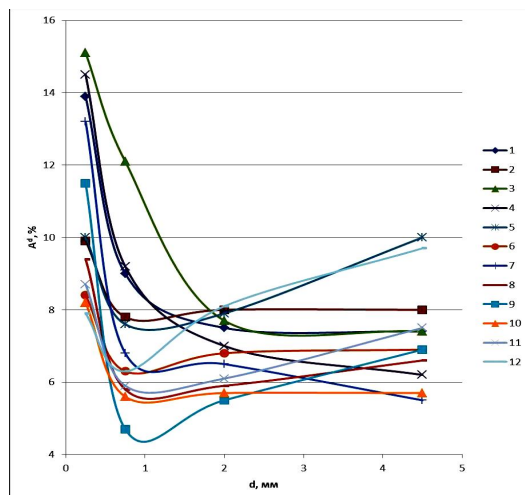


Рис. 4. Розподіл зольності вугілля в діапазоні 0,25–4,5 мм крупності його часточок

Враховуючи це, можна припустити, що надмірне подрібнення вугілля з утворенням підвищеної кількості класів менше 0,5 мм може призвести до “самопіснення” шихти і, відповідно, погіршення її якості. В цьому наші результати збігаються з дослідженнями, раніше проведеними авторами роботи [18] щодо впливу мацерального складу вугілля на процеси його сегрегації та дроблення, і частково також з висновками авторів праці [6] щодо розподілу частинок за розміром, пов’язаного з петрографічною характеристикою матеріалу. Подібний нерівномірний розподіл зольності вугільної шихти призводить до утворення зон коксу з підвищеним вмістом мінеральних включень, погіршення механічної міцності коксу (M_{10} , M_{40}) та до шкідливого впливу домішок на доменну плавку, зокрема, на шлакування та витрати коксу [22].

Було проведено дослідження щодо визначення фактичної сегрегації вугільної шихти у вугільній вежі батарей № 7–8 ПрАТ “АКХЗ”.

З цієї метою під час закачування проводили відбір вугільної шихти, що надходить у вугільну вежу, а також проб вугільної шихти, що завантажується в бункери вуглезавантажувальної

машини, з різних секцій та рядів вугільної вежі протягом 6 год.

Марочний і компонентний склад вугільної шихти наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Марочний і компонентний склад вугільної шихти

№ з/п	Постачальник	Марка	Участь у шихті, % мас.
1	А	Г	8,3
2	В	Г	8,4
3	С	Г	11,4
4	Д	ГЖП	3,5
5	Е	Ж	7,0
6	Ф	Ж	6,0
7	Г	Ж	9,4
8	Н	Ж	10,2
9	І	К	18,0
10	Ј	К	2,0
11	К	К	8,6
12	Л	ПС	7,2
Разом			100,0

У табл. 6–8 наведені дані щодо технічного, пластометричного, петрографічного та гранулометричного аналізів цієї вугільної шихти.

Таблиця 6

Технологічні властивості вугільної шихти

Технічний аналіз, % мас.					Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолотості за Хардгровим, од.	Співлива здатність за Рога, од.
W^a	A^d	S_t^d	V^d	V^{daf}	X	Y	HGI	RI
1,4	8,3	1,03	29,0	31,6	22	14	62	62,2

Таблиця 7

Петрографічна характеристика вугільної шихти

Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній довільний показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
						0,40–0,49	0,50–0,79	0,80–0,89	0,90–1,19	1,20–1,49	1,50–1,69	1,70–2,59
						Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту						
Vt	Sv	I	L	α_{FC}	R _o	Д	ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	П
84	0	14	1	14	1,02	0	52	9	10	12	1	16

Таблиця 8

Гранулометричний склад вугільної шихти

Гранулометричний склад (мм), % мас.										Середній діаметр часток, мм
+50	25–50	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1,0	-0,5	-6	-3	d _s
0,2	3,9	8,8	15,8	19,1	20,0	7,7	24,4	71,2	52,1	6,2

Оцінюючи дані таблиць, можемо зазначити, що шихта на 61,2 % мас. складається з добре спіклого вугілля марок “Ж” (32,6 % мас.) та “К” (28,6 % мас.); на 31 % мас. – з вугілля газової групи та 7,2 % мас. – пісного вугілля. Товщина пластичного шару вугільної шихти 14 мм, її зольність – 8,3 % мас., вміст сірки –

1,03 % мас., летких речовин на сухий беззольний стан – 31,6 % мас., вітриніту – 84 %, неоднорідних фюзенизованих компонентів – 14 %, коефіцієнт її розмолотості за Хардгровим – 62 од.

У табл. 9 наведено дані щодо виходів за класами крупності шихти та їх зольності.

Таблиця 9

Гранулометричний склад та показники якості класів вугільної шихти до дроблення

Клас крупності	Вихід, % мас.	Зольність, % мас.
		A ^d
> 6	28,8	8,8
3–6	19,1	7,4
1–3	20,0	6,8
0,5–1,0	7,7	7,2
< 0,5	24,4	11,2
0–3	52,1	8,7
Всього	100,0	8,3

Оцінюючи наведені дані, можемо зазначити, що середній діаметр часток шихти 6,2 мм, а її помел до дроблення становить 52,1 % мас. Розподілення зольності за класами крупності аналогічне до розподілення в концентратах, а саме – найбільше її значення (11,2 % мас.) властиве найменшому класу < 0,5 мм, найменше значення (6,8–7,4 % мас.) у середніх класах 0,5–1,0, 1–3 та 3–6 мм, а проміжне значення 8,8 % мас. – у найбільшому класі > 6 мм.

Було проведено дослідження щодо визначення фактичної сегрегації вугільної шихти у вугільній вежі батарей № 7–8 ПрАТ “АКХЗ”.

З цієї метою було проведено відбір вугільної шихти, що надходить у вугільну вежу (під час закачування), а також проб вугільної шихти, що завантажується в бункери вуглезавантажувальної машини, з різних секцій та рядів вугільної вежі (протягом 6 год).

У табл. 10–11 наведено технологічні властивості (A^d, S^d, V^{daf}) та гранулометричний склад (за класами +6; 3–6; 1–3; 0,5–1,0; менше 0,5 мм) вугільної шихти до вугільної вежі, а також проб вугільної шихти, що завантажується в бункери вуглезавантажувальної машини з різних секцій та рядів вугільної вежі.

Таблиця 10

**Технологічні властивості та гранулометричний склад вугільної шихти
до вугільної башти батарей № 7–8 ПрАТ “АКХЗ”**

Дата відбору	Клас крупності	Вихід, % мас.	Технічний аналіз, % мас.		
			A ^d	S ^d _t	V ^{daf}
13 ⁰⁰ 19.11.13	> 6	9,1	11,5	0,63	34,8
	3–6	11,2	7,9	0,79	35,0
	1–3	22,7	7,7	0,90	33,7
	0,5–1,0	16,3	7,3	0,97	32,4
	< 0,5	40,7	9,0	1,01	30,9
	0–3	79,7	8,3	0,97	32,0
	d _s	1,87	–	–	–
	Всього	100,0	8,5	0,92	32,6
14 ⁰⁰ 19.11.13	>6	6,8	8,4	0,60	34,2
	3-6	14,8	8,9	0,74	34,9
	1-3	19,7	7,6	0,87	33,2
	0,5-1	16,3	7,2	0,94	31,8
	<0,5	42,4	8,8	1,00	30,4
	0–3	78,4	8,2	0,95	31,4
	d _s	1,80	–	–	–
	Всього	100,0	8,3	0,90	32,1

Дані табл. 10 свідчать, що вміст класу 0–3 мм у пробах вугільної шихти, відібраних з інтервалом 1 год, становить 78,4–79,7 % мас.; зольність – 8,3–8,5 % мас.; вміст загальної сірки – 0,90–0,92 % мас.; вихід летких речовин на сухий беззольний стан – 32,1–32,6 % мас., а середній діаметр часточок – 1,80–1,87 мм. Можна кон-

статувати відносну стабільність технологічних властивостей та гранулометричного складу вугільної шихти протягом закачування її у вугільну вежу.

Різне розташування рядів секцій вплинуло на технологічні властивості та гранулометричний склад відібраних проб вугільних шихт (табл. 11–13).

Таблиця 11

**Технологічні властивості та гранулометричний склад шихти з вугільної башти батарей
№ 7–8 1-ї секції 1-го ряду ПАТ “АКХЗ”**

Клас крупності	Вихід, % мас.	Технічний аналіз, % мас.		
		A ^d	S ^d _t	V ^{daf}
1	2	3	4	5
Відбір 1 о 9⁵⁷ 20.11.13				
> 6	9,2	7,9	0,67	34,0
3–6	10,3	8,6	0,80	34,8
1–3	21,8	7,8	0,87	33,5
0,5–1,0	17,2	7,7	0,96	32,3
1	2	3	4	5
< 0,5	41,5	9,7	1,02	30,8
0–3	80,5	8,8	0,97	31,9
d _s	1,82	–	–	–
Разом	100,0	8,7	0,92	32,4
Відбір 2 о 10⁴⁵ 20.11.13				
> 6	10,9	8,3	0,83	34,1
3–6	10,7	8,5	0,75	34,7
1–3	18,5	7,5	0,81	33,4

Продовження табл. 11

1	2	3	4	5
0,5–,01	25,0	7,3	0,90	31,9
< 0,5	34,9	8,6	0,93	30,5
0–3	78,4	7,9	0,89	31,6
d_s	1,94	–	–	–
Разом	100,0	8,0	0,87	32,2
Відбір 3 о 12⁴¹ 20.11.13				
> 6	14,4	7,6	0,65	33,6
3–6	20,9	8,1	0,84	35,0
1–3	10,4	7,5	0,84	33,0
0,5–1,0	15,2	7,4	0,94	31,8
< 0,5	39,1	8,9	0,99	30,7
0–3	64,7	8,9	0,99	30,7
d_s	2,44	–	–	–
Разом	100,0	8,3	0,95	31,3
Відбір 4 о 15²³ 20.11.13				
> 6	19,4	6,6	0,61	33,0
3–6	13,2	7,8	0,81	34,8
1–3	20,2	7,6	0,91	33,6
0,5–1,0	13,3	7,0	0,96	32,5
< 0,5	33,9	8,7	1,05	30,7
0–3	67,4	8,0	0,99	31,9
d_s	2,64	–	–	–
Разом	100,0	7,7	0,89	32,5

Таблиця 12

**Технологічні властивості та гранулометричний склад шихти з вугільної башти батарей
№ 7–8 1-ї секції 4-го ряду ПАТ “АКХЗ”**

Клас крупності	Вихід, % мас.	Технічний аналіз, % мас.		
		A^d	S_t^d	V^{daf}
1	2	3	4	5
Відбір 1 о 8³⁷ 20.11.13				
> 6	9,6	9,0	0,73	33,9
3–6	9,9	8,0	0,71	35,0
1–3	20,9	8,0	0,85	33,1
0,5–1,0	17,5	7,6	0,91	32,1
< 0,5	42,1	9,0	0,97	30,5
0–3	80,5	8,4	0,93	31,5
d_s	1,82	–	–	–
Разом	100,0	8,4	0,89	32,1
Відбір 2 о 10³³ 20.11.13				
> 6	8,8	9,2	0,58	34,1
1	2	3	4	5
3–6	9,0	8,8	0,74	34,8
1–3	22,0	8,1	0,87	33,5
0,5–1,0	17,2	7,5	0,90	32,5
< 0,5	43,0	9,0	0,98	30,7
0–3	82,2	8,4	0,93	31,8
d_s	1,74	–	–	–
Разом	100,0	8,5	0,89	32,3

Продовження табл. 12

1	2	3	4	5
Відбір 3 о 12²⁹ 20.11.13				
> 6	6,9	8,3	0,73	34,0
3–6	9,5	8,9	0,85	35,1
1–3	22,1	7,7	0,92	33,3
0,5–1,0	18,6	7,4	0,96	32,7
< 0,5	42,9	9,0	1,06	30,1
0–3	83,6	8,3	0,84	31,5
d_s	1,63	–	–	–
Разом	100,0	8,4	0,97	32,0
1	2	3	4	5
Відбір 4 о 15²⁰ 20.11.13				
> 6	9,0	10,0	0,68	34,6
3–6	10,7	8,4	0,80	34,8
1–3	22,8	7,6	0,88	33,4
0,5–1,0	18,1	7,3	0,94	31,9
< 0,5	39,4	8,8	1,00	30,7
0–3	80,3	8,1	0,95	31,7
d_s	1,85	–	–	–
Разом	100,0	8,3	0,91	32,3

Таблиця 13

**Технологічні властивості та гранулометричний склад шихти з вугільної башти батарей
№ 7–8 1-ї секції 5-го ряду ПАТ “АКХЗ”**

Клас крупності	Вихід, % мас.	Технічний аналіз, % мас.		
		A^d	S_t^d	V^{daf}
1	2	3	4	5
Відбір 1 о 8¹⁰ 20.11.13				
> 6	8,3	8,3	0,67	33,4
3–6	10,8	8,0	0,76	35,2
1–3	21,7	8,1	0,85	33,3
0,5–1,0	17,3	7,4	0,90	32,6
< 0,5	41,9	8,4	0,96	30,8
0–3	80,9	8,1	0,92	31,9
d_s	1,78	–	–	–
Разом	100,0	8,1	0,88	32,3
Відбір 2 о 11²³ 20.11.13				
> 6	7,8	12,4	0,63	34,5
3–6	10,2	8,0	0,77	34,8
1–3	21,9	7,9	0,88	33,4
0,5–1,0	17,8	7,4	0,95	32,1
< 0,5	42,3	8,8	1,05	30,4
0–3	82,0	8,3	0,98	31,6
d_s	1,72	–	–	–
Разом	100,0	8,6	0,93	32,1
Відбір 3 о 12¹¹ 20.11.13				
> 6	5,5	9,1	0,66	33,9
3–6	10,2	7,9	0,76	34,2
1–3	22,0	7,7	0,86	33,3
0,5–1,0	18,5	7,3	0,91	31,9

Продовження табл. 13

1	2	3	4	5
< 0,5	43,8	8,6	0,97	30,7
0–3	84,3	8,1	0,93	31,6
d_s	1,56	–	–	–
Разом	100,0	8,1	0,90	32,0
Відбір 4 о 14⁴³ 20.11.13				
> 6	8,4	10,2	0,78	33,9
3–6	11,3	8,1	0,84	34,3
1–3	22,8	7,7	0,91	32,9
0,5–1,0	17,6	7,5	0,96	32,8
< 0,5	39,9	9,1	1,03	30,2
0–3	80,3	8,4	0,98	31,5
d_s	1,83	–	–	–
Разом	100,0	8,5	0,95	32,0

Дані табл. 11–13 свідчать, що вміст класу 0–3 мм у пробах вугільних шихт, відібраних з 1-го ряду 1-ї секції, нестабільний і становить від 80,5 % мас. (початок відбору) до 64,7–67,4 % мас. (завершення експерименту), т.е. розбіжність досягає 15,8 % абс. або 24,4 % відн. Ця обставина може бути викликана тим, що під час закачування 2-ї секції найбільші шматочки вугілля можуть відскакувати від роздільного шиберу і

потрапляти у 1-й або 2-й ряд вугільної вежі. Вміст цього класу в пробах, відібраних протягом експерименту з 4-го і 5-го рядів, також коливається, проте перебуває у технологічно допустимих межах, саме від 80,3 до 84,3 % мас.

У табл. 14 наведено інтервал значень технологічних властивостей проб вугільної шихти, відібраної до та після вугільної вежі батарей № 7–8 ПАТ “АКХЗ”.

Таблиця 14

Інтервал технологічних властивостей проб вугільної шихти

Найменування	Інтервал значень			
	A^d , % мас.	S^d , % мас.	V^{daf} , % мас.	d_s , мм
Шихта на башту	8,3–8,5	0,90–0,92	32,1–32,6	1,80–1,87
Вугільна башта, 1-ша секція, 1-й ряд	7,7–8,7	0,87–0,95	31,3–32,5	1,82–2,64
Вугільна башта, 1-ша секція, 4-й ряд	8,3–8,5	0,89–0,97	32,0–32,3	1,63–1,85
Вугільна башта, 2-га секція, 5-й ряд	8,1–8,6	0,88–0,95	32,0–32,3	1,56–1,83

Дані табл. 14 показують, що найбільш суттєво від одержаних значень технологічних властивостей вихідної вугільної шихти відрізняються проби, відібрані з 1-го ряду 1-ї секції: зольність знижується до 7,7 % мас.; вміст загальної сірки – до 0,87 % мас.; вихід летких речовин – до 31,3 % мас. Також цьому ряду притаманні найбільші неоднорідності за рівнем зольності, вмісту летких речовин та середнього діаметру часточок. Як наслідок, подібні нерівномірності розподілу вугільної шихти можуть призводити до сповільнення теплопередачі

та довшого коксування у верхній частині батареї через погану теплопровідність великих частинок, натомість у нижній частині, де більше дрібних фракцій, можливе перегрівання та надмірне газоутворення, що порушує стабільність процесу. Також нерівномірний розподіл частинок може призвести до проблем із вивантаженням коксу [23].

Аналізуючи отримані дані, можна дійти невідтінного висновку, що у крайніх рядах секцій вугільної башти батарей № 7–8 спостерігається

суттєве відхилення показників якості вугільної шихти від вихідних значень за її закачування. Цими результатами, проведеними нами в реальних умовах працюючого коксохімічного підприємства, цілком підтверджуємо висновки авторів роботи [17], які за допомогою моделювання виявили, що частинки більшої фракції розподіляються й осідають вздовж висоти шару якнайдалі. Аналогічні висновки продемонстровані й в роботах [11, 18].

Беручи до уваги цей факт, доцільно розробити рекомендації щодо усунення сегрегації та вирівнювання показників якості шихти, що повинно привести до стабілізації якості доменного коксу, що отримують на підприємстві.

Висновки

За результатами цієї роботи можна стверджувати, що зольність за класами крупності вугілля розподілена нерівномірно. Найбільшим середнім, але вкрай нерівномірними значеннями (6,8–32,1 % мас.) характеризується клас 25–50 мм (13,1 % мас.). Мінімальними значеннями зольності характеризуються класи 0,5–1,0 мм – 7,3 % мас.; 1–3 мм – 6,9 % мас. та 3–6 мм – 7,3 % мас. Також низькі значення зольності спостерігаються в найкрупнішому класі крупності +50 мм (6,6–7,5 % мас.). Водночас зольність дрібних (менше 0,5 мм) класів відібраного вугілля значно вища, ніж в середніх класах крупності (середнє значення – 10,9) і досягає 15,1 % мас. Враховуючи це, можна припустити, що надмірне подрібнення вугілля з утворенням підвищеної кількості класів менше 0,5 мм може призвести до “самопіснення” шихти і, відповідно, погіршення її якості. Розподілення зольності за класами крупності підготовленої вугільної шихти на башту аналогічне до її розподілення в концентратах, а саме – найбільше її значення (11,2 % мас.) виставлене найменшому класу (< 0,5 мм), найменше значення (6,8–7,4 % мас.) – у середніх класах 0,5–1, 1–3 та 3–6 мм, а проміжне значення 8,8 % мас. – у найбільшому класі (> 6 мм).

Аналіз отриманих даних показав розбіжність розподілу технологічних властивостей та гранулометричного складу вугільної шихти у рядах вугільної башти. Це стосується показника середнього діаметру часточок вугілля d_s , виходу летких речовин V^{daf} та його зольності A^d і збіль-

шується від центральних рядів башти до її крайніх рядів. Зокрема, інтервал відхилень для 4-го ряду 1-ї секції та 5-го ряду 2-ї секції башти зольності $A^d = 0,2 - 0,5$ % мас., виходу летких речовин $V^{daf} = 0,3$ % мас. та крупності $d_s = 0,22-0,27$ мм, то для дальнього 1-го ряду 1-ї секції відхилення значень $A^d = 1,0$ % мас., $V^{daf} = 1,2$ % мас., а $d_s = 0,82$ мм.

Вирішенням цієї проблеми може слугувати облаштування чотирисекційної (або більше) вугільної башти з обов'язковим симетричним розташуванням секцій відносно конвеєра. Подача шахти при цьому має відбуватись за допомогою плужкових скидачів та стаціонарних реверсивних стрічкових конвеєрів. Кути нахилу жолобів мають складати не менше 60°. Жолоби мають бути зафутуровані нержавіючою сталлю.

References

1. Ni, C., Xu, G., Chang, J., Liu, B. (2023). Dense Medium Cyclone Separation of Fine Coal: A Discussion on the Separation Lower Limit. *Minerals*, 13(9), 1115. <https://doi.org/10.3390/min13091115>
2. Wang, X., Cheng, H., Ding, D. (2024). Advances and Prospects on Flotation Enhancement of Difficult-to-Float Coal by Emulsion: A Review. *Minerals*, 14 (9), 952. <https://doi.org/10.3390/min14090952>
3. Sánchez, F., Hartlieb, P. (2020). Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37, 1385–1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
4. Zhao, Y., Yang, X., Luo, Z. et al. (2014). Progress in developments of dry coal beneficiation. *International Journal of Coal Science & Technology*, 1, 103–112. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0014-5>
5. Silva, G. L. R., Destro, E., Bueno, R. F., Oliveira, J. L. de R., Assis, R. D. (2009). *Caracterização química, física e metalúrgica das frações granulométricas da mistura de carvão da gerdau açominas, Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Ouro Preto: 2009. ISSN: 2594-357X, DOI 10.5151/2594-357X-15521*
6. Braga, E. M. H., da Silva, G. L. R., Amaral, R. C. V., Carias, M. do C., Assis, P. S., Lemos L. R. (2020). Influence of moisture and particle size on coal blend bulk density. *International Journal of Engineering*, 72 (2). <https://doi.org/10.1590/0370-44672018720006>
7. Constant, M., Coppin, N., Dubois, F., Artoni, R., Lambrechts, J., Legat, V. (2021). Numerical investigation of

the density sorting of grains using water jigging. *Powder Technology*, 393, 705–721. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.07.036>

8. Bosman, J. The art and science of dense medium selection. (2014). *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114, 529–536. <https://www.saimm.co.za/Journal/v114n07p529.pdf>

9. Mianowski, A., Mertas, B., Ściażko, M. (2021). The Concept of Optimal Compaction of the Charge in the Gravitation System Using the Grains Triangle for Cokemaking *Process. Energies*, 14(13), 3911. <https://doi.org/10.3390/en14133911>

10. Zhu, H. P., Zhou, Z. Y., Yang, R. Y., Yu, A. B. (2007). *Chemical Engineering Science*, 62 (13), 3378–3396. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.12.089>

11. Li, H., He, Y., Yang, J., Zhu, X., Peng, Zh., Yu. J. (2018). Segregation of coal particles in air classifier: Effect of particle size and density. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40, 11, 1332–1341. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1475521>

12. Li, X., Zhang, M., Zan, X., Tan, B., Gao, S. (2023). Numerical-simulation study on the influence of wind speed and segregation effect on spontaneous combustion of coal bunker. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52(1):103678. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103678>

13. Fu, Zh., Zhu, J., Barghi, Sh., Zhao, Yu., Luo, Zh., Duan, Ch. (2020). Mixing and segregation behavior in an air dense medium fluidized bed with binary mixtures for dry coal beneficiation. *Powder Technology*, 371, 30, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.05.094>

14. Wang, S., Fu, Y., Zhao, Y., Dong, L. Chen, Z. (2022). Effect of bed density on the segregation behavior of fine coal particles (<6 mm) in a gas–solid separation fluidized bed. *Powder Technology*, 395, 872–882. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.10.037>

15. Gupta, S., De, S. (2021). Investigation of hydrodynamics and segregation characteristics in a dual fluidized bed using the binary mixture of sand and high-ash coal. *Advanced Powder Technology*, 32 (8), 2690–2702. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.04.023>

16. Sun, Z., Huang, L., Jia, R. (2021). Coal and Gangue Separating Robot System Based on Computer Vision. *Sensors*, 21(4), 1349. <https://doi.org/10.3390/s21041349>

17. Wang, Q., Yin, W., Zhao, B., Yang, H., Lu, J., Wei., L. (2014). The segregation behaviors of fine coal particles in a coal beneficiation fluidized bed. *Fuel Processing Technology*, 124, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.02.015>

18. Ma, Y. Liu, J., Jiang, Y. Jiang, X., Ma, J., Wang, X., Jiao, A. (2019). Segregation patterns and characteristics differences of superfine pulverized coal ground by three pulverizing systems. *Advanced Powder Technology*, 30 (3), 513–523. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2018.12.002>

19. Oshitani, J., Teramoto, K., Yoshida, M., Kubo, Y., Nakatsukasa, Sh., Franks, G. V. (2016). Dry beneficiation of fine coal using density-segregation in a gas–solid fluidized bed. *Advanced Powder Technology*, 27 (4), 1689–1693. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2016.05.032>

20. Yang, F., Zhang, M., Ren, G., Yao, S., Zhou, E. (2023). Study on the Separation Effect and Mechanism of 6–0.5 mm Coal in Fluidized Bed with Vibratory Combined Force Field. *Energies*, 16 (3), 1133. <https://doi.org/10.3390/en16031133>

21. Surowiak, A., Niedoba, T., Wahman, M., Hassanzadeh, A. (2023). Optimization of Coal Production Based on the Modeling of the Jig Operation. *Energies*, 16 (4), 1939. <https://doi.org/10.3390/en16041939>

22. Burat, F., Kuyumcu, H. Z., Sander, S. (2015). Effect of Particle-Size Distribution and Degree of Saturation on Coal-Compacting Processes within a Coke-Making Operation, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 35(4), 216–231. <https://doi.org/10.1080/19392699.2015.1024832>

23. Dohi, Y., Hanaoka, K., Yamamoto, T., Yokoyama, M., Fukada, K., Matsui, T. (2014). Effect of Coal Size Segregation in Coal Bin on Discharging Coke Cake, *ISIJ International*, 54 (6), 1228–1234. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.1228>

V. V. Koval¹, D. V. Miroshnichenko^{1,2}, I. M. Avdeyuk², O. V. Kosminskyi²

¹ State Enterprise “Ukrainian State Research Institute for Carbochemistry (UKHIN)”, Coal department

² National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Department of oil”,
gas and solid fuel processing technology

THE INFLUENCE OF COAL SEGREGATION ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE BLEND DURING CHARGING OF COKE OVENS

It is shown that the ash content of coal is unevenly distributed by size classes. The 25–50 mm class has the highest average ash content (13.1 % wt.), but exhibits significant variability (6.8–32.1 % wt.). Smaller classes (< 0.5 mm) have a higher ash content (up to 15.1 % wt.) compared to the average sizes (10.9 % wt. on average). The stability of the technological properties of the coal charge during injection was confirmed, however, there are discrepancies in particle size, volatile matter yield and ash content, which increased from the center of the tower to its outer rows. Additionally, segregation may cause problems with coke discharge. Uneven ash distribution within the coal blend results in the formation of coke zones with elevated mineral content, which deteriorates the mechanical strength of the coke (M_{10} , M_{40}) and adversely affects blast furnace operation, particularly in terms of slag formation and coke consumption.

Keywords: segregation, coal tower, ash content, size classes, selection, distribution, granulometric composition.