

СТАБІЛІЗАЦІЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА ЗА ДОПОМОГОЮ ВУГЛЕЦЕВОГО МІКРОНАНОМАТЕРІАЛУ ТА АМІНОСПИРТІВ

Р. Кліщенко

e-mail: pakhartikhhv34@gmail.com

Вивчено можливість стабілізації композиційного водовугільного палива за допомогою добавок карбонових мікро- наноматеріалів, отриманих шляхом плазмохімічної конверсії органомісних стічних вод, та аміноспиртів. Досліджено системи на основі антрациту з концентрацією твердої фази 62%. Як аміноспирти застосовували 2-аміно-2-метил-1-пропанол (АМР) та 2-аміно-2-етил-1,3-пропандіол (АЕРД). Аміноспирти додавали до КВП у концентраціях 0,25; 0,5; 1 та 2,5% на масу КВП.

Встановлено, що ξ -потенціал частинок антрациту за наявності аміноспиртів становить за абсолютною величиною 40–45 мВ. Седиментаційна стійкість за присутності добавок високодисперсного карбону зростає з 5–6 до 10–14 діб, тобто практично вдвічі. Введення високодисперсного карбону призводить до зростання ефективної в'язкості систем і може бути рекомендованим для регулювання плинності КВП. Техніко-експлуатаційним вимогам найкраще задовольняє КПВ, до складу якої входить 0,25% АМР та 1% високодисперсного карбону.

Ключові слова: композиційне водовугільне паливо, антрацит, аміноспирт, мікронанокарбон, седиментація, ефективна в'язкість.

ВСТУП. Виробництво часто пов'язано з утворенням рідких органічних відходів, часто токсичних і вогнебезпечних. Такі вторинні ресурси є привабливою потенційною базою для приготування паливних дисперсних систем на основі природного вугілля. Композиційне водовугільне паливо (КВП) є реальною альтернативою не тільки твердому вугіллю, а й може слугувати заміником мазуту та дизельного палива. На жаль, основні дослідження КВП донедавна було сфокусовано на властивостях водного середовища та його неорганічних складових [1–3]. Тим часом введення органічних скла-

дових у дисперсійне середовище є одним зі способів поліпшити його енергетичну цінність та комплексно вирішити проблему раціонального використання техногенних відходів [2, 4].

Проблемою комбінованих систем є низька стабільність та неоднорідність розподілу частинок вугілля в органічних рідинах, що призводить до зростання в'язкості дисперсних систем, тому для регулювання реологічних властивостей та стабілізації КВП застосовують добавки хімічних реагентів (диспергаторів, пластифікаторів, стабілізаторів) [1–3, 5, 6]. До числа добавок, які

застосовують найбільш широко, належать лігносульфонати натрію, кальцію і магнію, нафталінсульфокислоти (С-3, НФ, Дофен), які ефективно поліпшують властивості КВП [2, 3]. Однак їхнє виробництво локалізовано здебільшого у Російській Федерації і постачання їх припинено. Тому постає питання пошуку заміників цих продуктів.

Одними з диспергаторів та стабілізаторів, які найчастіше застосовують, зокрема, у виробництві водоемульсійних фарб, є аміноспирти [7]. Вони малотоксичні, порівняно дешеві, не викликають надмірного піноутворення та слугують антикорозійними агентами і стабілізаторами рН. Альтернативним шляхом зміцнення просторової структури є також введення до КВП реакційноздатних частинок типу карбонових мікро- та наноматеріалів – нановуглецевого матеріалу (НВМ). На відміну від поліелектролітів та ПАР, молекули яких мають фіксовану кількість активних груп, частинки НВМ, залежно від способу формування, можуть мати різне число активних центрів. Тому не підвищуючи концентрацію ПАР та поліелектролітів за допомогою варіювання властивостей НВМ, можна досягти збільшення числа контактних центрів для формуванні просторової сітки. Це пов'язано з активацією контактних взаємодій під

час помелу та утворення нової поверхні з енергоненасиченими активними центрами, що дозволяє підвищити концентрацію системи, а також збільшити теплотворну здатність палива завдяки каталітичним властивостям НВМ [8, 9]. Але за присутності органічної складової механохімічна активація може бути неефективною через екранування активних центрів великорозмірними органічними молекулами. Тому встановлення найбільш ефективних реагентів-стабілізаторів і технології їхнього введення в дисперсну систему є дуже важливою та складною проблемою при отриманні КВП.

Метою роботи є визначення можливості стабілізації КВП на основі антрациту за допомогою добавок НВМ та аміноспиртів.

ЕКСПЕРИМЕНТ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ. Як об'єкт дослідження використовували КВП на основі антрациту одного з родовищ України зі вмістом твердої фази 62 % мас. Вихідне вугілля мололи на валковому млині та фракціювали на ситах СЛМ 200 для одержання однорідної дисперсності та гранулометричного складу: фракція 250–100 мкм – 41%, 100–40 мкм – 27%, 40–1 мкм – 31%. Технічний та елементний аналіз антрациту наведено в табл.1.

Таблиця 1

Технічний та елементний аналіз антрациту для приготування КВП

Table 1.

Technical and elemental analysis of anthracite used to make CWCF.

Технічний аналіз, мас. %			Елементний аналіз, % на daf				
Вологість W^a , %	Зольність A^d , %	Леткі речовини V^{daf} , %	C	H	N	O	S
9,8	9,3	43,8	96,4	2,1	0,1	1,1	0,3

Структурно-сорбційні характеристики мезопор (2–50 нм) вугільного порошку: густина ($\rho = 1,76 \text{ г/см}^3$), питома поверхня ($S_{\text{sp}} = 2,47 \text{ м}^2/\text{г}$), питомий об'єм пор ($V_{\text{pore}} = 0,0025 \text{ см}^3/\text{г}$) і ефективний діаметр пор ($d_{\text{pore}} = 14,5 \text{ нм}$) було визначено методом DFT за даними низькотемпературної адсорбції N_2 (77 К) на аналізаторі питомої поверхні Quantachrome Autosorb із наступним обробленням даних програмним забезпеченням Quantachrome Instruments. v. 3.0.

Для антрациту як найбільш метаморфізованого типу вугілля є характерним переважання мікропор [10, 11]. Структурно-сорбційні характеристики мікропор ($> 2 \text{ нм}$) питома поверхня ($S_{\text{sp}} = 139 \pm 3 \text{ м}^2/\text{г}$), питомий об'єм пор ($V_{\text{pore}} = 27,8 \pm 0,8 \text{ см}^3/\text{г}$) і ефективний діаметр пор ($d_{\text{pore}} = 1,82 \pm 0,05 \text{ нм}$) визначали за результатами адсорбції CO_2 методом Дубініна – Радускевича [11].

Кількість поверхневих функціональних груп: COOH – $0,032 \text{ мг-екв/г}$; OH – $0,010 \text{ мг-екв/г}$; $\text{C} = \text{O}$ – $0,034 \text{ мг-екв/г}$

визначено титруванням за Боемом $0,05 \text{ М}$. NaOH , Na_2CO_3 і NaHCO_3 [12]. Неорганічну складову антрациту за даними рентгенофазового аналізу (дифрактометр «ДРОН 2.0» із фільтрованим Co -випромінюванням) представлено переважно кварцом, піритом та глинистими мінералами.

Для отримання КВП проводили гомогенізацію порошку вугілля з дисперсійним середовищем (табл. 2). Як аміноспирти використовували 2-аміно-2-метил-1-пропанол (AMP) CAS 124-68-5 та 2-аміно-2-етил-1,3-пропандіол (AEPD) CAS 115-69-5. Аміноспирти вводили до КВП у концентраціях 0,25; 0,5; 1 та 2,5% на масу КВП.

Дисперсійним середовищем слугував зразок органічних стічних вод після промивання деталей технічного призначення, склад яких наведено в таблиці 2. Крім вищезазначених компонентів зразки містять $< 5 \text{ мг/дм}^3$ НПАР із групи етоксильованих жирних спиртів.

Таблиця 2

Склад органічної стічної води для приготування КВП

Table 2.

Composition of organics-containing wastewater for the preparation of CWCF.

Компонент,	C, мг\дм ³
SO_4^{2-}	34,8
Cl^-	74,4
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	262,1
дизельне пальне (вуглеводні $\text{C}_{10}\text{-C}_{14}$)	13,1
ксилол + толуол	0,75

Плазмохімічне оброблення стічних вод для приготування НВМ виконували у реакторі, схему якого наведено у [13]. НВМ формується як результат де-струкції органічних компонентів стіч-

ної води шляхом конденсації нової фази.

Гранулометричний склад НВМ вимірювали на приладі і за методикою SOPAT. Переважають частинки розміром від 1 до 5 мкм (67 %), водночас присутні частинки

субмікронних розмірів (33%). Докладний опис методики наведено в роботі [14]. Визначення величини ξ -потенціалу проводили на установці і за методикою, яку наведено у [15].

Ефективну в'язкість η зразків вимірювали на приладі Rheotest-2 за $t = 20^\circ\text{C}$. Діапазон виміру швидкостей зсуву γ обмежувався значеннями $1\text{--}250\text{ c}^{-1}$.

Седиментаційну стійкість St вивчали за часом розшарування проби КВП у мірному циліндрі.

Для антрациту є характерним домінування органічної складової поверхні. Кількість мінеральних включень є невеликою,

порівняно з менш метаморфізованими сортами вугілля. Основними потенціалутворюючими групами є гідроксильні, фенольні, лактонні, карбоксильні. Аміноспирти формують слабколужне дисперсійне середовище і можна очікувати зростання дисоціації груп – донорів H^+ – іонів вугільної поверхні ($-\text{OH}$, $-\text{O}-\text{R}$, $-\text{COOH}$, $> \text{C}=\text{O}$) та зростання величини ξ -потенціалу. Це, своєю чергою, підсилює іонно-електростатичний фактор стабілізації суспензій.

У табл. 3 наведено дані величини ξ -потенціалу зразків КВП суспензій з різним вмістом аміноспиртів для антрациту.

Таблиця 3

Величини рН дисперсійного середовища та ξ -потенціалу частинок дисперсної фази зразків КВП із різним вмістом аміноспиртів

Table 3.

The values of pH of the dispersion medium and ξ -potential of the particles of the dispersed phase of the CWCF samples as a function of amino alcohol content.

Марка вугілля	С аміноспирту, %	рН КВП		Ξ-потенціал, мВ	
		AMP	AEPD	AMP	AEPD
А	0	6,56	6,56	-25	-25
	0,25	7,28	7,12	-32	-27
	0,5	7,65	7,51	-35	-30
	1	8,01	7,87	-41	-38
	2,5	8,55	8,10	-45	-44

У слабколужному середовищі частинки антрациту мають негативний заряд за рахунок дисоціації кислих поверхневих груп. Додавання аміноспиртів дещо підвищує ξ -потенціал частинок вугілля за рахунок інтенсифікації зв'язування H^+ – іонів, десорбованих вугільною поверхнею. Дія AMP є дещо помітнішою, ніж AEPD. Молекула останнього відрізняється додатковою OH -групою як замісником, тому лужність

AEPD є дещо зниженою. Крім цього, дещо більша розгалуженість молекули AEPD викликає більші просторові перепони за взаємодії з поверхнею вугільної частинки. Якщо для частинок менше 10 мкм знайдені значення ξ -потенціалу 40–45 мВ можуть бути достатніми для стабілізації, то присутні у суспензії КВП частинки розміром > 50 мкм не стабілізовані і можуть осаджуватися.

Оскільки іонно-електростатичне відштовхування не достатнє для стабілізації отриманих зразків КВП за низьких концен-

трацій аміноспиртів (табл. 3), було досліджено вплив добавок НВМ.

Таблиця 4

Седиментаційна стійкість КВП для систем антрацит – АМР, антрацит – АЕРД без та з додаванням НВМ

Table 4

Sedimentation stability of CWCF for anthracite – АМР, anthracite – АЕРД systems without and with the addition of CNM.

Марка вугілля	С аміноспирту, %	St, доби			
		без НВМ		із додаванням 1% НВМ	
		АМР	АЕРД	АМР	АЕРД
А	0	0,25	0,25	1	1
	0,25	2	2	4	3
	0,5	3	3	6	4
	1	5	5	10	6
	2	6	6	14	10

Як видно з даних табл. 4, седиментаційна стійкість систем антрацит – АМР та антрацит – АЕРД є практично однаковою і зростає зі збільшенням концентрації аміноспирту. Для КВП в умовах зберігання прийнятною є St не менше 5–7 діб. Це є дійсним лише для зразків із підвищеною концентрацією АМР та АЕРД. КВП із меншим вмістом цих добавок бажано використовувати відразу після приготування.

Седиментаційна стійкість систем антрацит – АМР та антрацит – АЕРД відчутно підвищується (~ вдвічі) при додаванні у систему 1% НВМ і дає можливість забезпечити бажану St при зменшеній витраті аміноалкоголів.

Ці феномени пов'язані з тим, що просторова 3-D сітка у випадку ПАР на основі аміноспиртів формується за допомогою, в основному, водневих зв'язків, тоді як час-

тинки НВМ взаємодіють за допомогою сил міжмолекулярної взаємодії (сил Ван-дер-Ваальса). Енергія водневих зв'язків перевищує сили Ван-дер-Ваальса (6–130 кДж/моль проти 10–20 кДж/моль) тому, хоча просторова сітка у випадку ПАР із розгалуженою будовою міцніша, але й дуже підвищує в'язкість. До того ж, ПАР на основі аміноспиртів з активними гідрофільними групами (-ОН, -NH₂) зазвичай добре працюють у високополярних середовищах (H₂O), що зумовлено легкою дисоціацією цих груп.

Між частинками НВМ та антрацитом реалізується, в основному, дисперсійна (лондонівська взаємодія), котра залежить від константи Гамакера і у низькополярних середовищах може забезпечити бажану стабільність КВП при збереженні плинності за рахунок зменшення в'язкості. Оскільки дисперсійні (та індукційні) взаємодії

обернено пропорційні шостому ступеню відстані між поверхнями, то їхня реалізація у системах із НВМ зумовлена малими розмірами та можливістю частинок НВМ впритул наблизитися до поверхні дисперс-

ної фази. При цьому формується просторова структурна сітка, котра може втримувати частинки дисперсної фази від агрегації та седиментації навіть у випадку досить великих (> 50 мкм) частинок (рис 1).

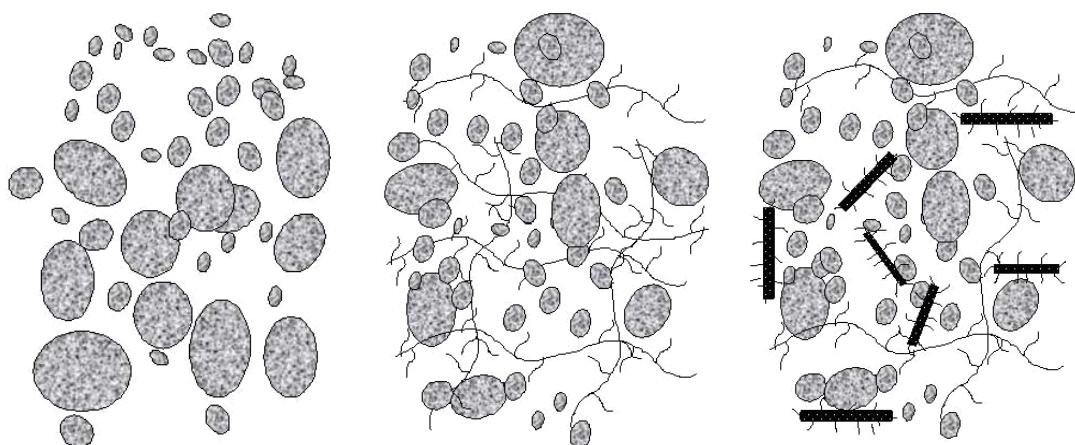


Рис. 1 Седиментація полідисперсних систем без добавок стабілізаторів, стабілізована ПАР на основі аміноспиртів, стабілізована ПАР на основі аміноспиртів та НВМ

Fig. 1 Sedimentation of polydisperse systems without stabilizer additives, stabilized with an amine alcohol-based surfactant, stabilized with an amine alcohol-based surfactant, and CNM.

Важливими фізико-хімічними та технологічними показниками є реологічні властивості КВП. Їх визначають за типом, granulometric composition and concentration

частинок твердої фази. Ці показники у експериментах були незмінними. Варіювалися тип та концентрація аміноспиртів у системах без та з додаванням НВМ.

Таблица 5

Ефективна в'язкість η у діапазоні швидкостей зсуву у $1-243 \text{ s}^{-1}$ для систем антрацит – АМР

Table 5

Effective viscosity η in the range of shear rates $\gamma 1-243 \text{ s}^{-1}$ for anthracite – AMP systems.

$\gamma, \text{ s}^{-1}$	C (AMP), %				C (AMP), % + 1% НВМ			
	0,25	0,5	1	2,5	0,25	0,5	1	2,5
	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$
1	2,24	2,12	2,02	2,08	2,45	3,05	3,88	5,41
1,8	1,82	1,75	1,62	1,67	2,28	2,92	3,32	5,01
3	1,65	1,58	1,47	1,51	2,07	2,54	2,88	4,77

Таблиця 5
Table 5

$\gamma, \text{с}^{-1}$	C (AMP), %				C (AMP), % + 1% НВМ			
	0,25	0,5	1	2,5	0,25	0,5	1	2,5
	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$
5,4	1,21	1,15	1,03	1,22	1,87	2,27	2,50	4,30
9	1,12	1,05	0,94	0,96	1,62	1,95	2,24	3,86
16,2	1,03	0,96	0,88	0,91	1,35	1,58	2,09	3,59
27	0,98	0,91	0,78	0,8	1,20	1,31	1,90	3,10
48,6	0,91	0,81	0,72	0,73	0,98	1,02	1,45	2,84
81	0,8	0,74	0,69	0,72	0,85	0,94	1,00	2,14
145,8	0,72	0,69	0,68	0,70	0,73	0,78	0,88	1,23
243	0,70	0,68	0,68	0,70	0,72	0,74	0,80	0,87

Таблиця 6

Ефективна в'язкість η у діапазоні швидкостей зсуву γ 1–243 с^{-1} для систем антрацит – АЕРД

Table 6

Effective viscosity η in the range of shear rates γ 1–243 с^{-1} for anthracite – AEPD systems.

$\gamma, \text{с}^{-1}$	C (AEPD), %				C (AEPD), % + 1% НВМ			
	0,25	0,5	1	2,5	0,25	0,5	1	2,5
	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$
1	2,31	2,32	2,30	2,48	2,61	3,12	3,78	4,52
1,8	1,87	1,88	1,90	2,10	2,40	2,86	3,20	4,19
3	1,72	1,73	1,77	1,85	2,20	2,70	2,75	3,65
5,4	1,28	1,35	1,40	1,44	2,04	2,51	2,32	3,22
9	1,21	1,25	1,24	1,26	1,90	2,25	2,17	2,95
16,2	1,10	1,12	1,07	1,01	1,65	1,98	2,00	2,60
27	1,04	1,06	0,94	0,88	1,37	1,52	1,88	2,22
48,6	0,95	0,95	0,85	0,83	1,01	1,15	1,51	1,64
81	0,82	0,85	0,80	0,75	0,87	0,99	1,03	0,98
145,8	0,74	0,74	0,71	0,70	0,74	0,83	0,87	0,85
243	0,72	0,73	0,70	0,68	0,74	0,77	0,81	0,84

Як видно з табл. 5, 6, всі досліджені системи демонструють псевдопластичний характер реологічної поведінки. Зі зростанням $\dot{\gamma}$ КВП зменшується. При $\dot{\gamma}$ понад 100 c^{-1} псевдопластичний характер течії змінюється на ньютонівський, тобто структура системи руйнується. Системи з АМР дещо стійкіші, ніж системи з АЕРД. Модифікування КВП за допомогою НВМ дозволяє підвищити як $\dot{\gamma}$, так і критичну швидкість зсуву, при досягненні якої спостерігається руйнування структури.

Порівняння ефективної в'язкості η водовугільних суспензій паливного призначення прийнято здійснювати за швидкості зсуву $\dot{\gamma} = 9 \text{ c}^{-1}$. Для забезпечення бажаних експлуатаційних характеристик КВП повинно мати η у межах 1,5–1,65 Па·с. Як видно з табл. 5, цій вимозі задовольняє КПВ, до складу якої входить 0,25% АМР та 1% НВМ. Седиментаційна стійкість цієї системи складає 4 доби (табл. 4). і таке КВП можна застосовувати за умови нетривалого зберігання.

ВИСНОВКИ. Вивчено можливість стабілізації композиційного водовугільного палива за допомогою добавок карбонових мікронаноматеріалів, отриманих шляхом плазмохімічної конверсії органовмісних стічних вод, та аміноспиртів. Встановлено що ξ -потенціал частинок антрациту за присутності аміноспиртів становить за абсолютною величиною 40–45 мВ. Седиментаційна стійкість за присутності добавок високодисперсного карбону зростає з 5–6 до 10–14 діб, тобто практично вдвічі. Введення високодисперсного карбону призводить до зростання ефективної в'язкості систем і може бути рекомендованим для регулювання плинності КВП. Техніко-експлуата-

ційним вимогам найкраще задовольняє КПВ, до складу якої входить 0,25% АМР та 1% високодисперсного карбону.



Роботу виконано в межах держбюджетної теми «Дослідження впливу фізико-хімічних факторів на процеси структуроутворення у композиційних карбонвмісних дисперсних системах», державний реєстраційний номер: 0122U000179.

STABILIZATION OF WATER-COAL COMPOSITE FUELS USING CARBON MICRO-NANO-MATERIALS AND AMINO ALCOHOLS.

R. Klishchenko

e-mail: pakhartikhv34@gmail.com

The study investigated the potential of stabilizing composite water-coal fuel (CWCF) by adding carbon micro-nanomaterials obtained through the plasma-chemical conversion of organics-containing wastewater and amino alcohols. The study focused on systems based on anthracite with a solid phase concentration of 62%. Two amino alcohols, 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) and 2-amino-2-ethyl-1,3-propanediol (AEPD) were used at concentrations of 0.25%, 0.5%, 1%, and 2.5% by weight of CWCF.

The low stability and heterogeneity of coal particle distribution in organic liquids cause an increase in the viscosity of dispersed systems in combined systems. To regulate the rheological properties and stabilize the CWCF, chemicals such as dispersants, plasticizers, and stabilizers are added. The CWCF's properties can be

improved by using additives such as sodium, calcium, and magnesium lignosulfonates, and naphthalene sulfonic acids. However, these reagents may not provide the desired properties of coal slurries in organomineral environments. Therefore, substitutes for these products need to be found.

Amino alcohols are commonly used as dispersants and stabilizers, especially in the production of water-based paints. They are low in cost, low in toxicity, and serve as anti-corrosive agents and pH stabilizers without causing excessive foaming. To strengthen the spatial structure, reactive particles such as carbon micro- and nanomaterials (CNM) can be introduced into the CWCF. Unlike polyelectrolytes and surfactants, CNM particles can have a varying number of active centers depending on the method of formation. By varying the properties of CNMs, it is possible to increase the number of contact centers and form a spatial grid without increasing the concentration of surfactants and polyelectrolytes. This is because contact interactions are activated during grinding, forming a new surface with energy-saturated active centers. As a result, the concentration of the system can be increased, and the calorific value of the fuel can be increased as well. However, the presence of an organic component can render mechanochemical activation ineffective by shielding active sites with large organic molecules. Therefore, identifying the most effective stabilizer reagents and developing technology for their introduction into the dispersed system is a crucial and intricate problem in obtaining CWCF.

The study revealed that the ξ potential of anthracite particles is 40–45 mV in the presence of amino alcohols. Sedimentation stability in the presence of highly dispersed carbon

additives increases from 5–6 to 10–14 days, i.e., almost twice. The introduction of highly dispersed carbon leads to an increase in the effective viscosity of the systems and can be recommended for controlling the fluidity of the CWCF. The technical and operational requirements are best met by the CWCF containing 0.25% AMR and 1% highly dispersed carbon.

Keywords: composite water-coal fuel, amino alcohol, micro-nanocarbon, sedimentation, effective viscosity.

ЛІТЕРАТУРА

1. Li Dedi, Liu Jianzhong, Wang Shuangni, Cheng Jun. Study on coal water slurries prepared from coal chemical wastewater and their industrial application. *Applied Energy*. 2020. **268**. P. 114976. doi./10.1016/j.apenergy.2020.114976
2. Makarov A. S., Boruk S. D., Egurnov A. I., Dimitryuk T. N., Klishchenko R. E. Utilization of industrial wastewater in production of coal-water fuel. *J. Water Chem. Technol.* 2014. **36**. P. 180–3. doi./10.3103/S1063455X14040055.
3. Liu J. Z., Wang S. N., Li N., Wang Y., Li D. D., Cen K. F. Effects of metal ions inorganic wastewater on coal water slurry and dispersant properties. *Energy Fuels*. 2019. **33**. P. 7110–7. doi./10.1021/acs.energyfuels.9b01146.
4. Kuznetsov G. V., Syrodoy S. V., Purin M. V., Zenkov A. V., Gvozdyakov D. V., Larionov K. B. Justification of the possibility of car tires recycling as part of coal-water composites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021. **9**. P. 1–20. doi: 10.1016/j.jece.2020.104741
5. Lin Song; Liu, Zhentang Zhao, Enlai Qian, Jifa Li, Xiaoliang Zhang, Qiming Ali, Muhammad. A study on the FTIR spectra of pre- and post-explosion coal dust to evaluate the effect of functional groups on dust explosion. *Process*

- Safety and Environmental Protection*. 2019. **130**:30712–30728.
doi: 10.1016/j.psep.2019.07.018
6. Zhang W. B., Luo J., Huang Y., Zhang C., Du L., Guo J. Synthesis of a novel dispersant with topological structure by using humic acid as raw material and its application in coal water slurry preparation. *Fuel*. 2020. **262**. P. 116576. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116576.
 7. Burnett C. L., Bergfeld W. F., Belsito D. V., Klaassen C. D., Marks J. G., Shank R. C., Slaga T. J., Snyder P. W., Alan Andersen F. Final Amended Report on Safety Assessment on Aminomethyl Propanol and Aminomethyl Propanediol. *International Journal of Toxicology*. 2009. **28** (6). P. 141–161.
doi:10.1177/1091581809350932
 8. Testa Caterina, Zammataro Agatino, Pappalardo Andrea, Trusso Sfrazzetto Giuseppe. Catalysis with carbon nanoparticles, *RSC Advances*. 2019. **9**. (47).
doi: 10.1039/c9ra05689k
 9. Zammataro A., Sfrazzetto G. T. Carbon Dots as Catalysts: A New Class of Nanozymes. *Current Organocatalysis*. 2019. **7**. (1).
doi: 10.2174/2213337206666190702165008
 10. Wang R. K., Ma Q. Q., Zhao Z., Ye X. M., Jin Q., Zhao Z. H. Adsorption of surfactants on coal surfaces in the coking wastewater environment: kinetics and effects on the slurring properties of coking wastewater-coal slurry. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2019. **58**. P. 12825–34.
doi./10.1021/acs.iecr.9b01829.
 11. Kim Hae Jung, Shi Yao, He Junwei, Lee Hyeon-Hui, Lee Chang-Ha. Adsorption characteristics of CO₂ and CH₄ on dry and wet coal from subcritical to supercritical conditions. *Chemical Engineering Journal*. 2011. **171**. (1).
doi: 10.1016/j.cej.2011.03.035
 12. Oickle A. M., Goertzen S. L., Hopper K. R., Abdalla Y. O., Andreas H. A. Standardization of the Boehm titration: Part II. Method of agitation, effect of filtering and dilute titrant. *Carbon*, 2010. **48**. (4). P. 3313–3322.
doi: 10.1016/j.carbon.2009.11.050.
 13. Goncharuk V., Klishchenko R., Kornienko I. Destruction of GT Azo Active Orange Dye in the Flow-Through Plasma-Chemical Reactor. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018. **40** (4). P. 185–189.
doi: 10.3103/S1063455X1706008X
 14. Maaß S., Rojahn J., Hänsch R., Kraume M. Automated drop detection using image analysis for online particle size monitoring in multiphase systems. *Computers and chemical engineering*. 2012. **45**: P. 27–37.
doi: 10.1016/j.compchemeng.2012.05.014.
 15. Mishchuk N., Kornilovich B., Klishchenko R. pH regulation as a method of intensification soil electroremediation. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2007. **306**. (1–3). P. 171–179.
doi:10.1016/j.colsurfa.2007.03.014

REFERENCES

1. Li Dedi, Liu Jianzhong, Wang Shuangni, Cheng Jun. Study on coal water slurries prepared from coal chemical wastewater and their industrial application. *Applied Energy*. 2020. **268**: 114976.
doi. /10.1016/j.apenergy.2020.114976
2. Makarov A.S., Boruk S.D., Egurnov A.I., Dimitryuk T.N., Klishchenko R.E. Utilization of industrial wastewater in production of coal-water fuel. *J. Water Chem Technol*. 2014. **36**: 180–3.
doi./10.3103/S1063455X14040055.
3. Liu J.Z., Wang S.N., Li N., Wang Y., Li D.D., Cen K.F. Effects of metal ions inorganic wastewater on coal water slurry and dispersant properties. *Energy Fuels*. 2019. **33**: 7110–7.
doi./10.1021/acs.energyfuels.9b01146.
4. Kuznetsov G.V., Syrodoy S.V., Purin M.V., Zenkov A.V., Gvozdyakov D. V., Larionov K.B. Justifcation of the possibility of car tires recycling as part of coal-water composites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021. **9**: 1–20.

- doi: 10.1016/j.jece.2020.104741
5. Lin Song; Liu, Zhentang Zhao, Enlai Qian, Jifa Li, Xiaoliang Zhang, Qiming Ali, Muhammad. A study on the FTIR spectra of pre- and post-explosion coal dust to evaluate the effect of functional groups on dust explosion. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. **130**:30712–30728. doi: 10.1016/j.psep.2019.07.018
6. Zhang W.B., Luo J., Huang Y., Zhang C., Du L., Guo J. Synthesis of a novel dispersant with topological structure by using humic acid as raw material and its application in coal water slurry preparation. *Fuel*. 2020. **262**: 116576. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116576.
7. Burnett C.L., Bergfeld W.F., Belsito D.V., Klaassen C.D., Marks J.G., Shank R.C., Slaga T. J., Snyder P.W., Andersen F. A. Final Amended Report on Safety Assessment on Aminomethyl Propanol and Aminomethyl Propanediol. *International Journal of Toxicology*. 2009. **28**(6): 141–161. doi:10.1177/1091581809350932
8. Testa C., Zammataro A., Pappalardo A., Sfrazzetto G. T. Catalysis with carbon nanoparticles. *RSC Advances*. 2019. **9**. (47). 27659–27664. doi: 10.1039/c9ra05689k
9. Zammataro, Agatino; Sfrazzetto G.T. Carbon Dots as Catalysts: A New Class of Nanozymes. *Current Organocatalysis*. 2020. **7**(1). 3–6 doi: 10.2174/2213337206666190702165008
10. Wang R.K., Ma Q.Q., Zhao Z., Ye X.M., Jin Q., Zhao Z.H. Adsorption of surfactants on coal surfaces in the coking wastewater environment: kinetics and effects on the slurring properties of coking wastewater-coal slurry. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2019. **58**: 12825–34. doi:10.1021/acs.iecr.9b01829.
11. Kim Hae Jung, Shi Yao, He Junwei, Lee Hyeon-Hui, Lee Chang-Ha. Adsorption characteristics of CO₂ and CH₄ on dry and wet coal from subcritical to supercritical conditions. *Chemical Engineering Journal*. 2011. **171**(1): 45–53. doi: 10.1016/j.cej.2011.03.035
12. Oickle A.M., Goertzen S.L., Hopper K.R., Abdalla Y.O., Andreas H.A. Standardization of the Boehm titration: Part II. Method of agitation, effect of filtering and dilute titrant. *Carbon*. 2010. **48**(12): 3313–3322. doi: 10.1016/j.carbon.2009.11.050.
13. Goncharuk V., Klishchenko R., Kornienko I. Destruction of GT Azo Active Orange Dye in the Flow-Through Plasma-Chemical Reactor. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018. **40**(4): 185–189. doi: 10.3103/S1063455X1706008X
14. Maaß S., Rojahn J., Hänsch R., & Kraume M. Automated drop detection using image analysis for online particle size monitoring in multiphase systems. *Computers & Chemical Engineering*. 2012. **45**: 27–37. doi: 10.1016/j.compchemeng.2012.05.014.
15. Mishchuk N., Kornilovich B., Klishchenko R. pH regulation as a method of intensification soil electroremediation. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2007. **306**(1–3): 171–179. doi:10.1016/j.colsurfa.2007.03.014

Стаття надійшла 19.09.2023.