

УДК 541.183:622.33 + 622.693

© Борук С.Д.¹, Тевтуль Я.Ю.¹, Запотічна Н.М.², Макаров А.С.², 2015

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

²Інститут колоїдної хімії і хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ СТАНУ НЕВОДНИХ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ ВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ

Досліджена можливість застосування математичного моделювання для прогнозування властивостей висококонцентрованих вугільних суспензій. Проведений аналіз дозволив вивести рівняння, яке задовільно характеризує зміну властивостей неводних дисперсних систем на основі відходів вуглезабагачення марки «Т» і бурого вугілля. Доведено, що шляхом математичного моделювання можна успішно прогнозувати поведінку вугільних суспензій. Дані експериментальних досліджень і математичного прогнозування показали, що збільшення концентрації дисперсної фази супроводжується збільшенням в'язкості та седиментаційної стійкості дисперсних систем. Критична концентрація дисперсної фази дорівнює $65 \div 66$ % (мас) для відходів вуглезабагачення марки «Т» і $30 \div 31$ % (мас) для бурого вугілля.

Ключові слова: висококонцентровані вугільні суспензії, седиментаційна стійкість, в'язкість, критична концентрація.

Вступ

Під час створення суспензій на основі низькокалорійного вугілля та відходів вуглезабагачення необхідно враховувати малий вміст у сировині органічної складової та мінімальний вміст летких речовин [1–3]. Розв'язати проблему горючості суспензій, створених на основі низькокалорійного палива, можна шляхом застосування як дисперсійного середовища рідких, горючих органічних середовищ. Перспективним дисперсійним середовищем є рідкі продукти піролізу полімерних відходів. Піроліз – один із найбільш раціональних, та при дотриманні вимог безпеки, екологічно безпечних напрямів переробки полімерних відходів.

Основні фізико-хімічні характеристики, що визначають можливість застосування вугільних суспензій як палива, це їх в'язкість і седиментаційна стійкість. Експериментально виявлено [4,5], що ці параметри залежать від концентрації дисперсної фази. Встановлення математичної залежності між цими параметрами має як теоретичне, так і практичне значення.

Методика експерименту

Для визначення функціонального зв'язку між параметрами стану концентрованих дисперсних систем нами виготовлені суспензії з різною концентрацією дисперсної фази. З практичного погляду доцільно обирати такі регульовані параметри, які легко змінювати. Якщо природа дисперсійного середовища і частинок дисперсної фази, а також їх розміри

і температура постійні, то седиментаційна стійкість суттєво залежить від концентрації дисперсної фази.

Для моделювання впливу вмісту дисперсної фази на седиментаційну стійкість суспензії використано такі параметри:

- вхідна регульована змінна величина (С) – вміст дисперсної фази в частках (% мас.) від загальної маси системи;
- вхідна нерегульована змінна величина (η) – в'язкість ефективна (Па·с);
- вихідна змінна величина (СС) – седиментаційна стійкість суспензії (доба). Як об'єкт дослідження використовували:
- буре вугілля марки “Б”, Олександрійського родовища. Бурий порошок, зольністю 22,5 %, вихідною вологістю 32,3 %;
- відходи вуглезабагачення вугілля марки «Т», центральної збагачувальної фабрики «Кондратьєвська», вологістю 15%, зольністю 43,1%.

Як дисперсійне середовище – рідкі продукти піролізу гуми, фракції відгону 55–185 °С [6].

При проведенні помелу як пластифікатор застосовували лігносульфонат натрію (ЛСТNa) – сіль лігносульфонової кислоти спільно з лугом.

Помел проводили в кульовому млині об'ємом 1,0 літр сталевими кулями діаметром 28 мм і 10 мм. Для цього використовували частинки вугілля розмірами до 2,5 мм. Час процесу визначали експериментально, критерієм його закінчення була відсутність

частинок розміром більше 300 мкм і вміст частинок більше 250 мкм менше 0,1 % (мас).

Вологість зразків визначали шляхом їх висушування до постійної маси при температурі 105° С та за різницею мас розраховували вологість зразка.

Зольність зразків шляхом їх прожарювання після висушування у муфельній печі при температурі 850° С до постійної маси та за різницею мас розраховували вміст золи.

В'язкість отриманих дисперсних систем визначалася безпосередньо після проведення помелу при швидкості зрушення 9 с⁻¹ на приладі "Реотест-2" за стандартною методикою.

Седиментаційну стійкість висококонцентрованих суспензій визначали за часом, необхідним до початку їх розшарування.

Результати й обговорення

Для встановлення функціонального взаємозв'язку між фізико-хімічними параметрами вугільних суспензій створювали дисперсні системи на основі продуктів піролізу полімерних відходів із концентрацією твердої фази 57÷66 % (мас.) для відходів вуглезбагачення вугілля марки «Т» і 29÷35 % (мас.) для бурого вугілля. Такі системи, за фізико-хімічними характеристиками, можна використати як паливо.

Як видно із даних (табл. 1), при досягненні критичної концентрації дисперсної фази відбувається стрімке збільшення в'язкості суспензій, яке супроводжується зростанням їх седиментаційної стійкості. Для відходів вуглезбагачення критична концентрація твердої фази складає 65÷66 % (мас.), бурого вугілля – 31 % (мас.). Седиментаційна

стійкість створених дисперсних систем зростає при збільшенні концентрації дисперсної фази, ймовірно, за рахунок досягнення щільнішої упаковки частинок у системі.

Аналіз графічних залежностей (рис. 1, 2) дозволяє зробити висновок про існування для створених дисперсних систем функціональних залежностей між обраними параметрами, які можна описати за допомогою рівнянь різного порядку.

Під час створення суспензій важливе оцінювання інтегрального впливу регульованих і нерегульованих параметрів на величину седиментаційної стійкості вугільної суспензії. Для цього використано можливості множинного регресійного аналізу.

Інтеграційна залежність седиментаційної стійкості системи «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення» від концентрації дисперсної фази і в'язкості з високим ступенем достовірності (R = 0,92) описується рівнянням першого порядку:

$$CC = -9,13 \cdot \eta + 3,30 \cdot C - 175,02 \quad (1)$$

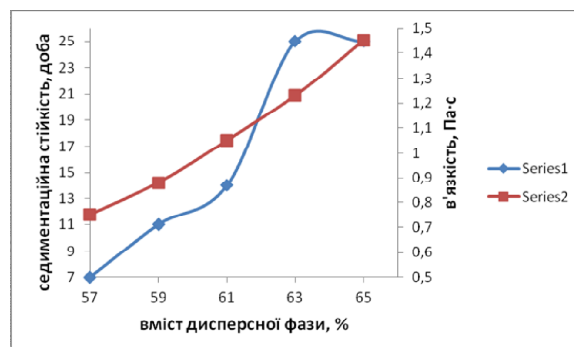


Рис. 1. Функціональна залежність седиментаційної стійкості (ряд 1) та в'язкості (ряд 2) вугільної суспензії на основі відходів вуглезбагачення вугілля марки «Т» від вмісту дисперсної фази

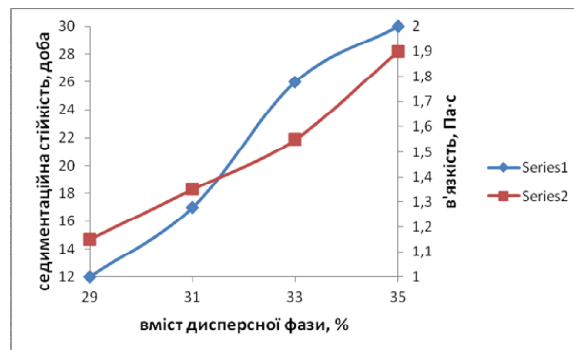


Рис. 2. Функціональна залежність седиментаційної стійкості (ряд 1) та в'язкості (ряд 2) вугільної суспензії на основі бурого вугілля від вмісту дисперсної фази

Таблиця 1

Фізико-хімічні характеристики вугільних суспензій на основі рідких продуктів піролізу гуми

Вміст дисперсної фази, %	В'язкість, Па·с	Седиментаційна стійкість, доба
Відходи вуглезбагачення вугілля марки «Т»		
57	0,75	7
59	0,88	11
61	1,05	14
63	1,23	25
65	1,45	25
Буре вугілля		
29	1,15	12
31	1,35	17
33	1,55	26
35	1,90	30

Враховуючи високу ступінь відповідності для рівняння (1), а також те, що вугільні системи добре описуються рівнянням першого порядку [5], можливість застосування рівнянь інших порядків не розглядалася.

Визначені за допомогою рівняння (1) значення седиментаційної стійкості, а також узгодження результатів моделювання впливу концентрації дисперсної фази на значення седиментаційної стійкості з визначеними експериментально подано у табл. 2, і на рис. 3.

Таблиця 2

Розрахункові значення седиментаційної стійкості для заданих значень концентрації дисперсної фази та динамічної в'язкості у системі «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення вугілля «Т»»

Концентрація з кроком 0,2 %	В'язкість з кроком 0,02 Па·с	Прогнозований результат седиментаційної стійкості (доба)
61,0	1,05	16,60
61,2	1,07	17,10
61,4	1,09	17,59
61,6	1,10	18,09
61,8	1,12	18,58
62,0	1,14	19,08
62,2	1,16	19,57
62,4	1,18	20,07
62,6	1,19	20,56
62,8	1,21	21,06
63	1,23	21,56

Різниця між результатами моделювання й експериментальними вимірюваннями відображено у табл. 3.

Отже, аналіз даних табл. 3 свідчить, що рівняння (1) можна застосовувати для прогнозування впливу концентрації дисперсної фази на седиментаційну стійкість системи «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення вугілля марки «Т»» за указаних вище умов.

У дисперсних системах на основі бурого вугілля характер залежностей не змінюється. Суттєво відрізняються лише діапазони концентрацій, що зумовлено відмінністю фізико-хімічних властивостей бурого вугілля та відходів вуглезбагачення вугілля марки «Т».

Таблиця 3

Різниця між експериментальними та прогнозованими значеннями седиментаційної стійкості системи «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення вугілля марки «Т»»

Концент-рація (% мас.)	В'язкість Па·с	Седиментаційна стійкість, доба (експериментальні значення)	Седиментаційна стійкість, доба (прогнозований результат)	Різниця між експериментальними та прогнозованими значеннями
57	0,75	7	8,5	+ 1,5
59	0,88	11	12,3	+ 1,3
61	1,05	14	16,6	+ 2,6
63	1,23	25	21,6	- 3,4
65	1,45	25	26,9	+ 1,9

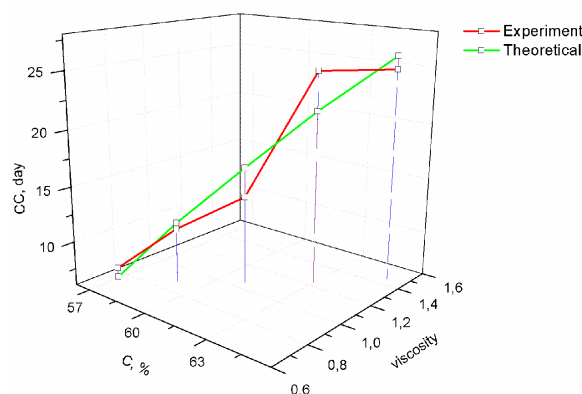


Рис. 3. Вплив концентрації дисперсної фази (C) й ефективного в'язкості (η) на значення седиментаційної стійкості системи «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення вугілля «Т»»

Інтеграційна залежність седиментаційної стійкості системи «рідкі продукти піролізу – відходи вуглезбагачення» від концентрації дисперсної фази і в'язкості з високим ступенем достовірності ($R = 0,92$) описується рівнянням першого порядку.

$$CC = -15,56 \cdot \eta + 5,06 \cdot C - 117,39 \quad (2)$$

Враховуючи високий ступінь відповідності для рівняння (2), а також те, що водовугільні системи добре описуються

рівнянням першого порядку, можливість застосування рівнянь інших порядків не розглядалася.

Визначені за допомогою рівняння (2) значення седиментаційної стійкості, а також узгодження результатів моделювання впливу концентрації дисперсної фази на значення седиментаційної стійкості з визначеними експериментально подано у табл. 4, і на рис. 4.

Таблиця 4

Розрахункові значення седиментаційної стійкості для заданих значень концентрації бурого вугілля та динамічної в'язкості у системі «рідкі продукти піролізу – буре вугілля»

Концентрація з кроком 0,2 %	В'язкість з кроком 0,02 Па·с	Прогнозований результат седиментаційної стійкості, доба
29,0	1,15	11,3
29,2	1,17	12,0
29,4	1,19	15,7
29,6	1,21	13,4
29,8	1,23	17,7
30,0	1,25	14,8
30,2	1,27	15,5
30,4	1,29	16,2
30,6	1,31	16,9
30,8	1,33	17,6
31,0	1,35	18,3

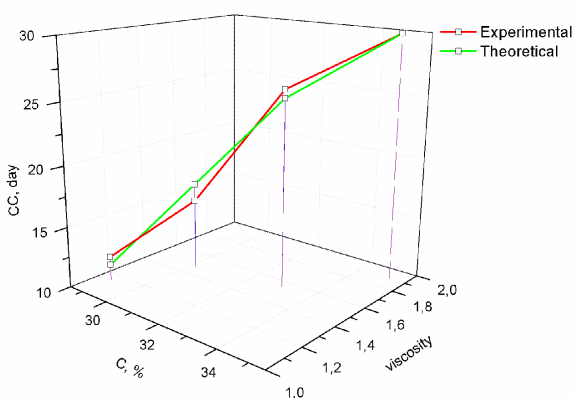


Рис. 4. Вплив концентрації дисперсної фази (C) й ефективної в'язкості (η) на значення седиментаційної стійкості системи «рідкі продукти піролізу – буре вугілля»

Різниця між результатами моделювання й експериментальними вимірюваннями відображено у табл. 5.

Таблиця 5

Різниця між експериментальними та прогнозованими значеннями седиментаційної стійкості системи «вода – буре вугілля»

Концент-рація (% мас.)	В'язкість Па·с	Седиментаційна стійкість, доба (експериментальні значення)	Седиментаційна стійкість, доба (прогнозований результат)	Різниця між експериментальними та прогнозованими значеннями
29	1,15	12	11,3	- 0,7
31	1,35	17	18,3	+ 1,3
33	1,55	26	26,6	+ 0,6
35	1,90	30	30,7	+ 0,7

Отже, аналіз даних табл. 5 свідчить, що рівняння (8) можна застосовувати для прогнозування впливу концентрації дисперсної фази на седиментаційну стійкість системи «рідкі продукти піролізу – буре вугілля» за указаних вище умов.

Висновки

Установлено, що між основними фізико-хімічними характеристиками концентрованих вугільних суспензій (концентрація – седиментаційна стійкість – в'язкість) існує функціональний взаємозв'язок. Отже седиментаційну стійкість таких систем можна прогнозувати за значеннями параметрів, що задаються (концентрація), або легко виміряти (в'язкість). Точність прогнозу складає до 10%.

Список літератури

1. Макаров А.С., Олофінський Е.П., Дегтяренко Т.Д. Физико-химические основы получения высококонцентрированных водовугільных суспензий // Вестник АН УССР – 1989. – N2. – С.65-75.
2. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Борук С.Д. Адсорбция лигносульфонатов на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных

- водоугольных суспензий // Химия твердого топлива - 1990. - N1. - С.92-97.
3. Макаров А.С., Егурнов А.И., Борук С.Д., Винклер И.А., Сочикан О.М. Высококонцентрированные суспензии на основе отходов углеобогащения. Получение, реологические характеристики и энергетическая ценность // Хімічна промисловість України, - 2007 - №2(79) – С. 56 – 60.
 4. Егурнов А.И., Борук С.Д., Тевтуль Я.Ю. Взаимосвязь параметров состояния водоугольного суспензионного топлива // Современная наука – Сборник научных статей – №2(15) – 2014 – С. 49–53.
 5. Sergey Boruk and Igor Winkler. Highly concentrated water-coal suspensions: preparation from the coal concentration slurries, rheological and energetic characteristics // Polish journal of applied chemistry – 2008 – LII, no. 3–4, – P. 149–155.
 6. Борук С.Д. Технология создания топлива на основе вторичных топливных энергоресурсов // Технологический аудит и резервы производства – 2014. – №1/3(15) – С. 4-5.

Summary

Boruk S. D., Tevtul Ya.U., Zapotichna N. M., Makarov A. S.

INTERCONNECTION BETWEEN SOME PARAMETERS OF STATE OF THE NON-AQUEOUS HIGHLY CONCENTRATED COAL SUSPENSIONS

An applicability of some mathematical simulation methods to prognosis of the highly concentrated coal suspensions properties has been investigated. As a result, an equation characterizing properties of the dispersed system based on the “Т” brand coal and brown coal refinery wastes was obtained. It is shown that mathematical simulation can be successfully applied to simulate the coal suspensions properties. Both experimental data and mathematical simulation results show that higher concentration of the dispersed phase results in higher viscosity and better sedimentation stability of the disperse systems. The critical dispersed phase concentration resulting more intense rise in viscosity is 65 ÷ 66 % (wt).

Key words: highly concentrated coal suspensions, sedimentation stability, viscosity, critical concentration.