УДК 541.183:622.33 + 622.693

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО СУСПЕНЗИОННОГО ТОПЛИВА

Егурнов А.И.[1], Борук С.Д.[2], Тевтуль Я.Ю.[2]

[1]ОАО «АНА-ТЭМС», Днепропетровск, Украина

[2]Черновицкий национальный университет им.Ю.Федьковича, Черновцы, Украина

АННОТАЦИЯ

Исследована возможность применения математического моделирования для прогнозирования свойств высококонцентрированных водоугольных суспензий. Проведенный анализ позволил вывести уравнение, удовлетворительно описывающее изменение свойств дисперсных систем на основе антрацита Показано, что путем математического моделирования можно успешно прогнозировать поведение угольных суспензий. Данные экспериментальных исследований, а так же математического моделирования показали, что увеличение концентрации дисперсной фазы приводит к возрастанию вязкости и седиментационной устойчивости созданных систем. Критическая концентрация, с которой начинается резкое возрастание значений вязкости, для дисперсных систем на основе антрацита составляет 65 ÷ 66 % (масс.).

ВВЕДЕНИЕ

Основными физико-химическими характеристиками, определяющими возможность применения водоугольних суспензий в качестве топлива, являются их вязкость и седиментационная устойчивость. Экспериментально установлено [1–3], что оба эти параметра зависят от концентрации дисперсной системы. Увеличение концентрации дисперсной системы сопровождается ростом вязкости и седиментационной устойчивости. Такая тенденция характерна для угольных суспензий, как на основе воды, так и на основе ряда органических дисперсионных сред. Вывод «уравнения состояния» концентрированных угольных суспензий имеет как теоретическое, так и практическое значение.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Как объект исследования нами использовался антрацит марки «АПШ», донецкого месторождения; зольностью 11,5 %, влажностью 4,3 %: размеры частиц 1-5 мм.

При проведении помола как пластификатор применяли лигносульфонат натрия (ЛСТNa), соль лигносульфоновой кислоты, совместно со щелочью (дальше добавка ЛСУ). Данная добавка хорошо зарекомендовала себя при создании водоугольных суспензий на основе углей разных стадий метаморфизма (в первую очередь марок «Д» и «Г») а также отходов углеобогащения [4–7].

Помол проводили в шаровой мельнице объемом 1,3 литра стальными шарами диаметром 28 мм и 10 мм. Для помола использовали частицы бурого угля размерами до 2,5 мм. Время помола определяли экспериментально. Критерием окончания помола было отсутствие частиц размером более 300 мкм и содержание частиц более 250 мкм меньше 0,1 % (масс.). Данная степень измельчения исходного сырья достигалась за 25 мин при 75 оборотах корпуса мельницы в минуту.

Вязкость полученных дисперсных систем определялась непосредственно после проведения помола при скорости сдвига 9 $с^{-1}$ на приборе «Реотест-2» согласно стандартной методике.

Седиментационную устойчивость высококонцентрированных суспензий определяли по времени, необходимому до начала их расслоения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные нами исследования позволили определить оптимальные условия получения водоугольного топлива на его основе [8, 9]. Для создания суспензий с физико-химическими свойствами, позволяющими их транспортировку трубами, экспериментально были получены системы с разной концентрацией дисперсной фазы. Учитывая высокую плотность антрацита важной характеристикой, определяющей

© Егурнов А.И., Борук С.Д., Тевтуль Я.Ю.

возможность их практического применения, является седиментационная устойчивость. Целенаправленное регулирование седиментационной устойчивости возможно путем обоснованного подбора регулированных факторов, характеризующих природу дисперсионной среды и дисперсной фазы (размеры частиц дисперсной фазы, концентрация, температура). С практической точки зрения целесообразно выбирать параметры, которые легко задать как исходные. При условии, что природа дисперсионной среды, частиц дисперсной фазы, а так же их размер, температура системы в условиях эксперимента постоянны, седиментационная устойчивость определяется концентрацией дисперсной фазы.

Для моделирования влияния содержания дисперсной фазы на седиментационную устойчивость суспензий использовали следующие параметры:

- исходная регулируемая переменная величина (С) – концентрация дисперсной фазы в процентах (%, масс.) от общей массы системы;
- исходная нерегулируемая переменная величина (η) – эффективная вязкость (Па·с);
- конечная переменная величина (СУ) – седиментационная устойчивость дисперсной системы.

Экспериментальные результаты влияния концентрации дисперсной фазы на значения вязкости и седиментационной устойчивости приведены в табл. 1

Табл. 1 Значения концентрации дисперсной фазы (С), эффективной вязкости (η) и седиментационной устойчивости (СУ) системы «вода-антрацит»

Концентрация дисперсной фазы, % (масс.)	Эффективная вязкость, Па·с	Седиментационная устойчивость, сутки
62,0	1,06	0,25
63,1	1,10	0,50
64,1	1,25	1,00
65,2	1,75	1,50
66,5	2,10	1,50
67,8	2,95	2,50

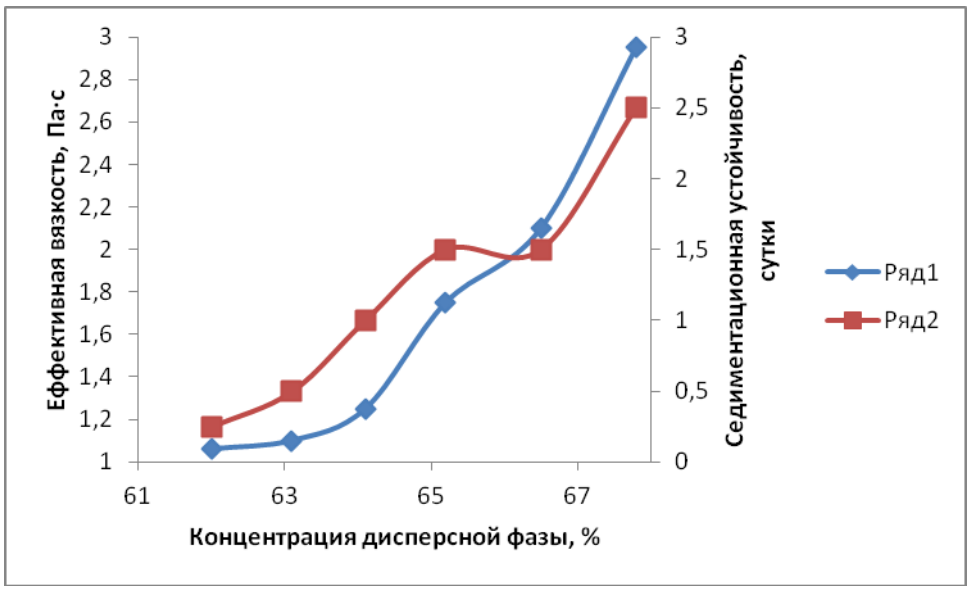

Рис. 1 Функциональная зависимость между седиментационной устойчивостью (1) и вязкостью (2) водоугольной суспензии на основе антрацита от концентрации дисперсной фазы

Анализ графических зависимостей (рис. 1) позволяет говорить о существовании функциональной зависимости между выбранными параметрами. Зависимости можно описать уравнениями разного порядка.

Проведенный парный регрессионный анализ показал, что зависимость между η и С хорошо описывается уравнением второго порядка (1), зависимости между СУ и С, а так же СУ и η имеют линейный характер и описываются уравнениями первого порядка (2; 3):

$$\eta = 0{,}055 \cdot C^2 - 6{,}78 \cdot C + 210{,}98; \quad R^2 = 0{,}99 \qquad (1)$$

$$СУ = 0{,}366 \cdot C - 22{,}515; \quad R^2 = 0{,}95 \qquad (2)$$

$$СУ = 1{,}067 \cdot \eta - 0{,}607; \quad R^2 = 0{,}93 \qquad (3)$$

Установлено, что наибольший коэффициент парной корреляции между вязкостью и концентрацией (0,99).

При создании водоугольного топлива необходимо оценить интегральное влияние регулированных и не регулированных параметров на седиментационную устойчивость системы. Для ее решения применяли множественный регрессионный анализ.

Так как зависимости СУ = f(C) (2) і СУ = f(η) (3) линейны, на первом этапе нами были рассчитаны коэффициенты уравнения первого порядка:

$$СУ = 0{,}449 \cdot \eta + 0{,}219 \cdot C - 13{,}8 \qquad (4)$$

Значение коэффициента множественной корреляции R = 0,959 позволяет утверждать, что характер зависимости между исходными и конечными параметрами линейный.

Учитывая, что зависимость вязкости системы от концентрации дисперсной фазы описывается уравнением второго порядка, были определены коэффициенты уравнения зависимости седиментационной устойчивости от вязкости и концентрации дисперсной фазы второго порядка:

$$СУ = -26{,}329 \cdot C^2 + 3{,}994 \cdot \eta^2 - 2{,}388 \cdot C \cdot \eta + 0{,}232 \cdot C + 143{,}137 \cdot \eta + 740{,}812 \qquad (5)$$

Для полученного уравнения коэффициент корреляции R = 0,732, что значительно хуже, чем для уравнения первого порядка. Поэтому для дальнейших расчетов использовали уравнение 4.

Результаты его применения для расчета значений седиментационной устойчивости, а также их согласование с экспериментальными результатами приведены в таблицах 2, 3 и на рис. 2

Табл. 2 Расчетные значения седиментационной устойчивости для заданных концентраций суспензий антрацита и эффективной вязкости для системы «вода – антрацит»

Концентрация дисперсной фазы с шагом 0,1 %	Вязкость с шагом 0,0035 Па·с	Прогнозируемый результат седиментационной устойчивости (сутки)
62,0	1,06	0,31
62,1	1,06	0,33
62,2	1,07	0,36
62,3	1,07	0,38
62,4	1,07	0,40
62,5	1,08	0,43
62,6	1,08	0,45
62,7	1,08	0,47
62,8	1,09	0,50
62,9	1,09	0,52
63,0	1,10	0,54
63,1	1,10	0,57

Разница между результатами моделирования и экспериментальными данными приведена в таблице 3.

Табл.3 Экспериментальные и прогнозируемые значения седиментационной устойчивости системы «вода – антрацит»

Концентрация (% мас.)	Вязкость Па·с	Седиментационная устойчивость, сутки (эксперимент)	Седиментационная устойчивость, сутки (прогноз)	Разница между экспериментальными и прогнозируемыми значениями
62,0	1,06	0,25	0,31	– 0,06
63,1	1,10	0,50	0,57	– 0,07
64,1	1,25	1,00	0,86	+ 0,14
65,2	1,75	1,50	1,32	+ 0,18
66,5	2,10	1,50	1,76	– 0,26
67,8	2,95	2,50	2,43	+ 0,07

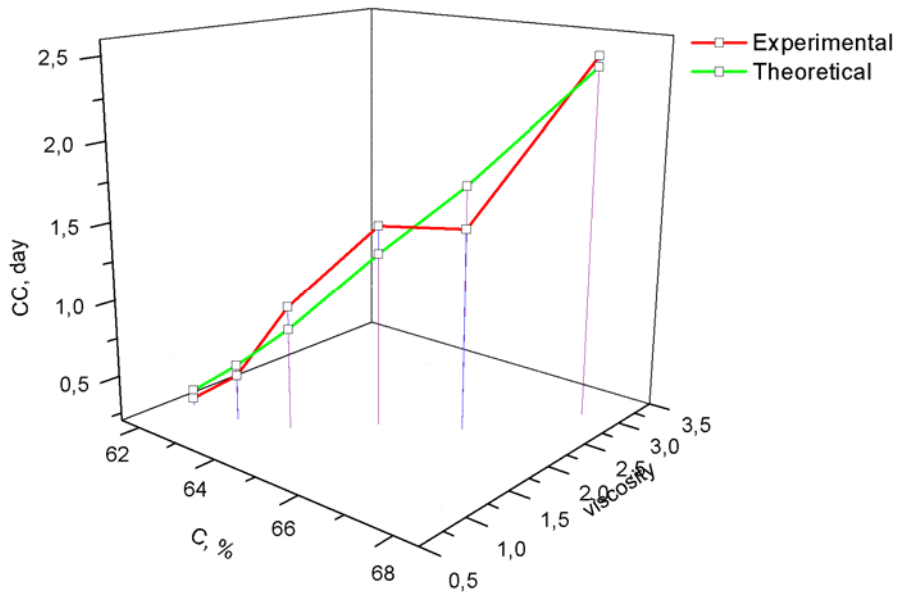

Рис. 2. Влияние концентрации дисперсной фазы (С) и эффективной вязкости (η) на значения седиментационной устойчивости системы «вода – антрацит

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенный анализ показал возможность применения уравнения (4) при прогнозировании поведения концентрированных угольных суспензий на основе антрацита. Показано, что путем математического моделирования можно успешно прогнозировать поведение высококонцентрированных угольных суспензий. Данные экспериментальных исследований, а так же математического моделирования показали, что увеличение концентрации дисперсной фазы приводит к возрастанию вязкости и седиментационной устойчивости созданных систем. Критическая концентрация, с которой начинается резкое возрастание значений вязкости, для дисперсных систем на основе антрацита составляет 65 ÷ 66 % (масс.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы.- М: Химия, - 1980 - 360 с.

   Uriev N.B. Vysokokontsentrirovannye dispersnye sistemy.- M: Khimiya, - 1980 - 360 p.

2. Урьев Н.Б. Закономерности структурообразования высококонцентрированных водоугольных суспензий // В сб. Исследование гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте - М.: ВНИИПИ гидротрубопровод - 1985 - с.8 - 27.

   Uriev N.B. Zakonomernosti strukturoobrazovaniya vysokokontsentrirovannykh vodougolnykh suspenziy // V sb. Issledovanie gidromekhaniki suspenziy v truboprovodnom transporte - M.: VNIIPI gidrotruboprovod - 1985 - pp.8 - 27.

3. Макаров А.С., Олофінський Е.П., Дегтяренко Т.Д. Физико-химические основы получения высококонцентрированных водовугільних суспензий // Вестник АН УССР - 1989. - N2.- С.65-75.

   Makarov A.S., Olofinskiy E.P., Degtyarenko T.D. Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya vysokokontsentrirovannykh vodovugilnikh suspenziy // Vestnik AN USSR - 1989. - N2. - pp.65-75.

4. 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.

   Degtyarenko T.D., Zavgorodniy V.A., Makarov A.S., Boruk S.D. Adsorbtsiya lignosulfonatov na poverkhnosti chastits tverdoy fazy vysokokontsentrirovannykh vodougolnykh suspenziy // Khimiya tverdogo topliva - 1990. - N1. - pp.92-97.

5. Гамера А.В., Воронова Э.М., Макаров А.С. Влияние содержания угля и гидроксида натрия на седиментационную устойчивость водоугольних суспензий // Химия твердого топлива. - 1990. - №2. - С.111-113.

   Gamera A.V., Voronova E.M., Makarov A.S. Vliyanie soderzhaniya uglya i gidroksida natriya na sedimentatsionnuyu ustoychivost vodougolnikh suspenziy // Khimiya tverdogo topliva. - 1990. - №2. - pp.111-113.

6. 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.

   Makarov A.S., Egurnov A.I., Boruk S.D., Vinkler I.A., Sochikan O.M. Vysokokontsentrirovannye suspenzii na osnove otkhodov ugleobogashcheniya. Poluchenie, reologicheskie kharakteristiki i energeticheskaya tsennost // Khimichna promislovist Ukraïni, - 2007 - №2(79) - pp. 56 - 60.

7. Гамера А.В., Борук С.Д., Макаров А.С., Третинник В.Ю., Завгородний В.А. Влияние неионогенных ПАВ на устойчивость водоугольных суспензий// Экотехнология и ресурсосбережение. - 1999 N5 - С.27-32.

   Gamera A.V., Boruk S.D., Makarov A.S., Tretinnik V.Yu., Zavgorodniy V.A. Vliyanie neionogennykh PAV na ustoychivost vodougolnykh suspenziy// Ekotekhnologiya i resursosberezhenie. - 1999 N5 - pp.27-32.

8. 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, - pp. 149-155.

9. Борук С.Д., Кобітович О.М., Никифорук Т.В. Напрями стабілізації водовугільних суспензій на основі антрациту // Наук. вісник ЧНУ Хімія.- Чернівці, 2011. - Вип. 581 - С. 12-16.

   Boruk S.D., Kobitovich O.M., Nikiforuk T.V. Napryami stabilizatsiï vodovugilnikh suspenziy na osnovi antratsitu // Nauk. visnik ChNU Khimiya.- Chernivtsi, 2011. - Vip. 581 - pp. 12-16.

© Егурнов А.И., Борук С.Д., Тевтуль Я.Ю.