

Загальні питання технології збагачення

– Дніпропетровськ: НГА, 2000. – № 8(49). – С. 12–18.

14. **Тутубалин В.Н.** Теория вероятностей. Краткий курс и научно-методические замечания. – Издательство московского университета, 1972. – 228 с.

© Полулях А.Д., Пожидаев В.Ф., Томилин В.Б., 2006

Надійшла до редколегії 25.04.2006 р.

Рекомендовано до публікації

УДК 622.794

О.А. КРУТЬ, канд. техн. наук

(Україна, Донецьк, НВО "Хаймек"),

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук,

П.В. СЕРГЄЄВ, канд. техн. наук

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ ТВЕРДОЇ ФАЗИ ВОДОВУГІЛЬНОЇ СУСПЕНЗІЇ З ПОЗИЦІЙ ТЕОРІЇ ДЛФО

В умовах дефіциту паливних ресурсів і зміни цінової політики щодо нафти та газу в Україні все актуальнішим стає збільшення частки вугілля у паливно-енергетичному балансі. Однією з перспективних технологій є використання в якості палива висококонцентрованих водовугільних суспензій (ВВВС). Вона, по-перше, дозволяє одержувати стійке транспортабельне паливо, яке може спалюватись в топках котлів без попереднього зневоднення. По-друге, ця технологія відрізняється суттєво більшою екологічною чистотою [1, 2].

Разом з тим сама висококонцентрована водовугільна суспензія являє собою складний об'єкт, який характеризується багатьма фізико-хімічними факторами, що визначають її агрегативну і седиментаційну стійкість та реологічні властивості.

Високу стабільність і текучість суспензій обумовлюють їх тиксотропні властивості. Зокрема, в умовах турбулентних потоків обернена тиксотропта відновлюваність забезпечується, згідно теорії ДЛФО, коагуляцією дисперсної твердої фази суспензії у положенні так званої "другої потенційної ями" на кривих "сумарна енергія взаємодії (E_c) – відстань між частинками (h)" [3–5].

Теоретичні основи тиксотропних рідинних систем базуються на основних положеннях колоїдної хімії, розроблених в роботах [3, 4, 6, 7]. Теорія водовугільних суспензій наразі знаходиться на стадії накопичення емпіричного матеріалу і опрацювання робочих гіпотез.

Метою цієї роботи є оцінка базисних властивостей ВВВС і тенденцій їх зміни з позицій сучасної теорії стійкості ліофобних колоїдів (теорії ДЛФО).

Загальні питання технології збагачення

Основними факторами, які визначають поведінку вугільної частинки у коагульованій структурі є: крупність частинки, гідрофільно-гідрофобний баланс поверхні частинок, загальний та електрокінетичний потенціал цієї поверхні.

Характеристики коагульованої тиксотропної водовугільної системи в цілому визначаються "глибиною" E_{m2} та координатою h_{m2} другої енергетичної ями (рис. 1) [4].

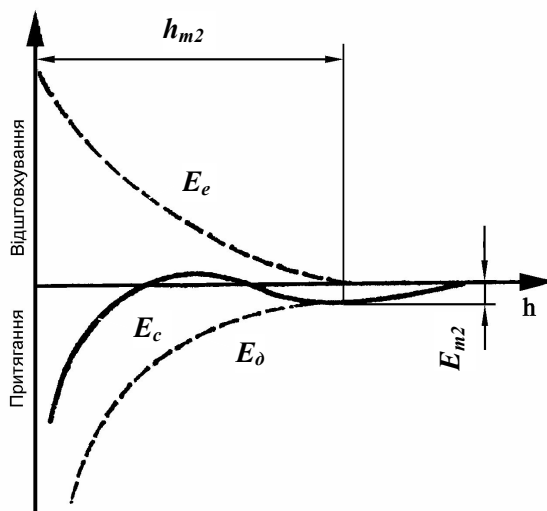


Рис.1 Криві потенційної енергії взаємодії двох частинок в залежності від відстані

Рис.1. Криві потенційної енергії взаємодії двох частинок в залежності від відстані між ними

Сумарна енергія E_c взаємодії двох сферичних частинок у рідині, згідно теорії ДЛФО, має дві складові – йонно-електростатичну E_e та молекулярну дисперсійну (Ван-дер-Ваальсову) E_d :

$$E_c = 2\pi \cdot \varepsilon_a \cdot r \cdot \varphi_\delta^2 \cdot \text{Ln}[1 + \exp(-\chi \cdot h)] - \frac{A \cdot r}{12h}, \quad (1)$$

де ε_a – абсолютна діелектрична проникність води ($\varepsilon_a = 7,26 \cdot 10^{-10}$ Ф/м); r – радіус сферичних вугільних часток, м; φ_δ – потенціал дифузної частини подвійного електричного шару (ПЕШ) на поверхні вугільних частинок, В; χ – зворотний дебаєвський радіус, $\chi = 1/\lambda$, де λ – довжина дифузного шару ПЕШ (для більшості випадків $\chi = 1 \cdot 10^8$ м⁻¹); h – відстань між вугільними частинками, м; A – константа Гамакера, Дж.

Існування другої енергетичної ями кривої $E_c(h)$ обумовлюється тим, що

Загальні питання технології збагачення

крива $E_d(h)$ убуває за степенним законом, а $E_e(h)$ – за експоненціальним, тобто остання убуває швидше ніж $E_d(h)$ (див. рис. 1).

Розглянемо вплив зазначених вище факторів на характер кривої $E_c(h)$. Для цього задамося вихідними параметрами рівняння (1).

Область варіювання крупності (d) вугільних частинок прийнята 10–100 мкм, що відповідає основному раціональному діапазону крупності твердої фази ВВВС [1,2] і відповідає крупності грубодисперсних об'єктів колоїдної хімії [5]. Область зміни загального потенціалу поверхні вугільних частинок за [8, 9] прийнято 20–100 мВ. Константа Гамакера (A) для гетерогенної вугільної поверхні, у зв'язку з різним гідрофільно-гідрофобним балансом, змінюється в межах $(0,5-3,5) \cdot 10^{-19}$ Дж [4].

На рис. 2 подані криві $E_c(h)$ Для різних крупностей вугільних частинок, одержані за допомогою програми MathCAD при потенціалі $\varphi = 100$ мВ і константі Гамакера $A = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Як видно, зі збільшенням крупності вугільних зерен збільшується енергетичний бар'єр відштовхування і одночасно зростає глибина "другої потенціальної ями". Перше відмічене явище – збільшення енергетичного бар'єру відштовхування – обумовлює зростання агрегативної стійкості, так як цей бар'єр перешкоджає потраплянню і незворотній коагуляції частинок в "першій потенціальній ямі".

Друге явище – збільшення глибини "другої потенціальної ями" – сприяє зростанню стабільності тиксотропної структури. Чим більша "глибина" цієї потенціальної ями, тим більша енергія взаємодії між частинками в обернених коагуляційних структурах і тим більша стійкість ВВВС.

На рис. 3 подані криві $E_c(h)$ при зміні сумарного потенціалу поверхні вугільних частинок в межах 20–100 мВ при крупності зерен вугілля $d_3 = 100$ мкм і константі Гамакера $A = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

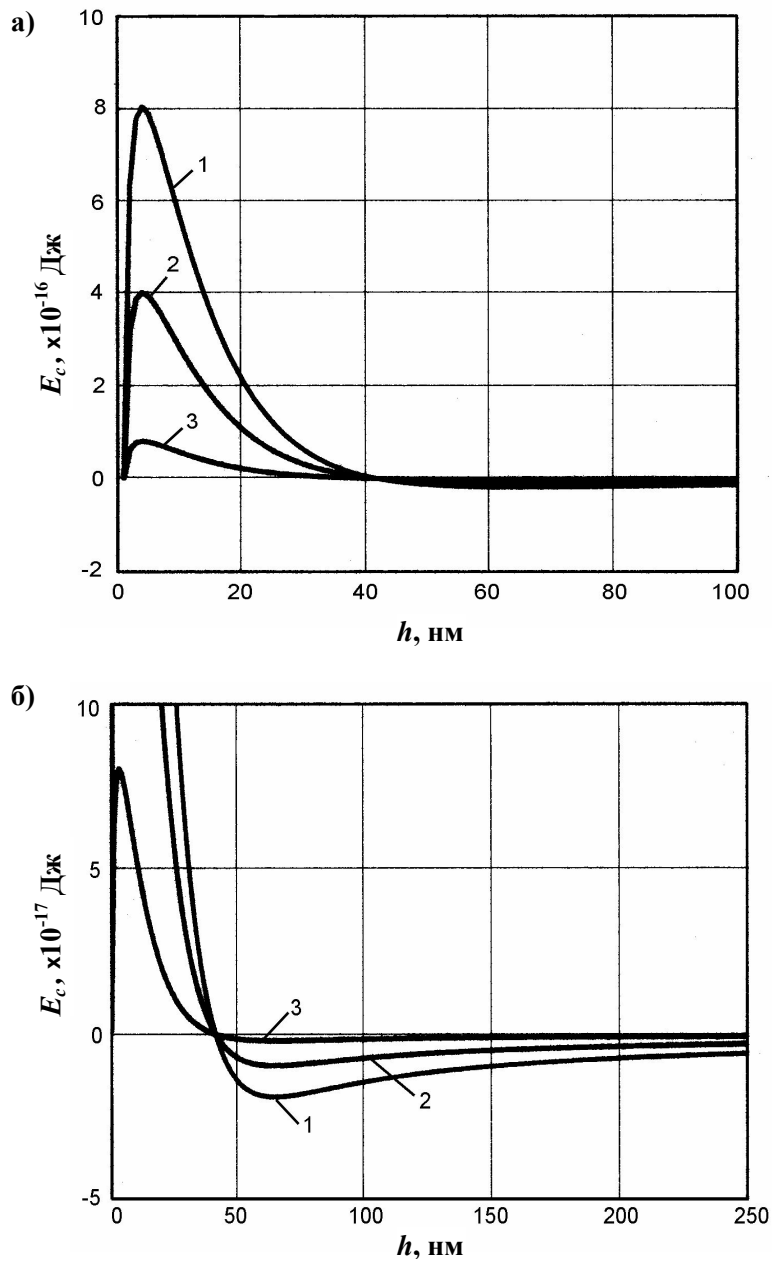
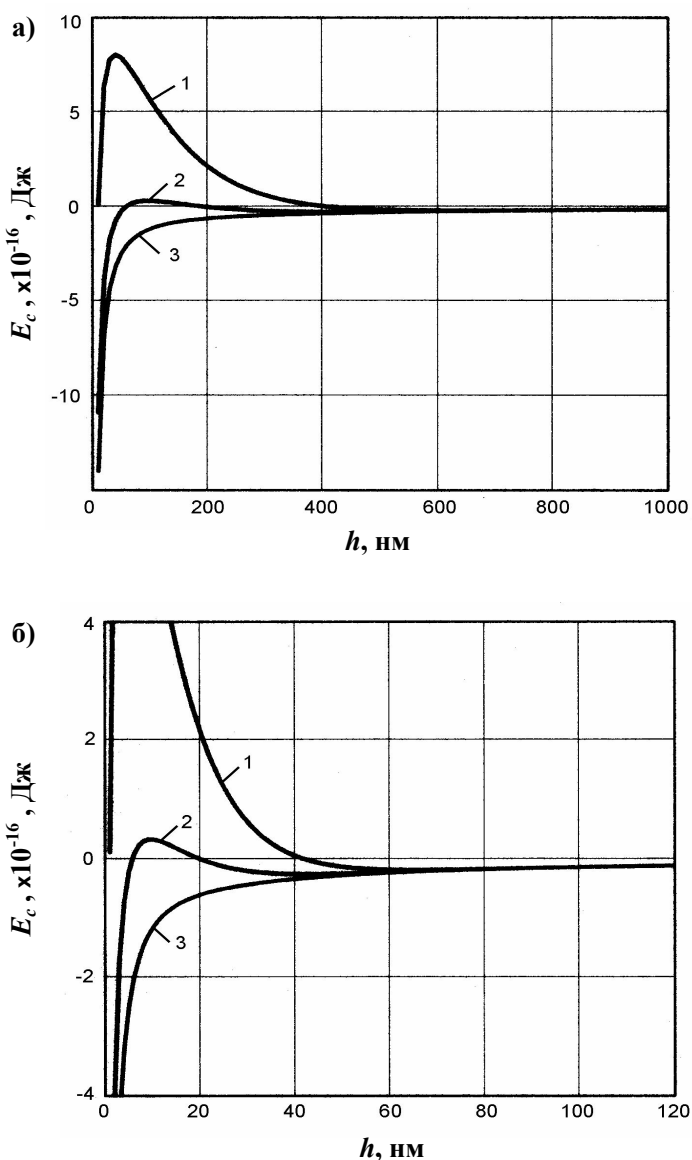


Рис. 2. Аналітичні залежності $E_c(h)$ при
 крупності вугільних частинок:
 1 – 100 мкм; 2 – 50 мкм; 3 – 10 мкм;
 а – загально-оглядовий масштаб кривих;
 б – деталізований відносно осі E_c

Загальні питання технології збагачення

Аналіз одержаних кривих показує, що збільшення потенціалу вугільної поверхні приводить до появи і збільшення енергетичного бар'єру відштовхування. Цей бар'єр з'являється при $\varphi \approx 50$ мВ. При $\varphi < 50$ мВ водовугільна суспензія агрегативно нестійка. Її зерна під дією дисперсійних Ван-дер-Ваальсових взаємодій незворотно коагулюють між собою і суспензія розшаровується. При $\varphi > 50$ мВ спостерігається два характерних ефекти. По-перше, суттєво зростає висота енергетичного бар'єру відштовхування, що відповідно збільшує агрегативну стійкість ВВВС. По-друге, координата другої енергетичної ями h_{m2} зміщується вправо. Це призводить до збільшення відстані між вугільними частинками, які фіксуються у другій потенційній ямі тиксотропної структури. Наслідком цього є збільшення для вугілля з відносно великим поверхневим потенціалом частки води в складі ВВВС (і відповідно зменшення концентрації в ній твердої фази).



а – загально-оглядовий масштаб кривих;
б – деталізований відносно осі E_c .

Рис.3. Аналітичні залежності $E_c(h)$ при зміні потенціалу поверхні вугільних частинок в межах 20–100 мВ:
1 – 100 мВ; 2 – 50 мВ; 3 – 20 мВ;
а – загально-оглядовий масштаб кривих;
б – деталізований відносно осі E_c .

Розглянемо тепер вплив на енергетичний стан частинок ВВВС фактору гетерогенності вугільної поверхні. Ця гетерогенність (гідрофільно-гідрофобний баланс поверхні) в теорії ДЛФО оцінюється константою Гамакера (див. рівняння (1)).

Загальні питання технології збагачення

Як відомо [4] чим сильніше взаємодіє вугільна фаза з водою, тим менше константа Гамакера A . А це означає, що сили притягання між частинками зменшуються. Тобто зростання значення константи A , відповідає збільшенню гідрофобних властивостей вугільної поверхні.

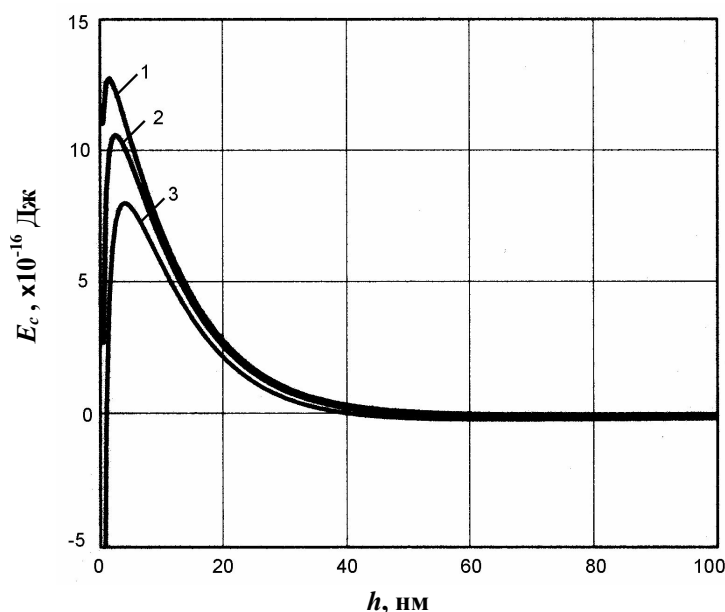


Рис.4. Аналітичні залежності $E_c(h)$ при зміні гідрофільно-гідрофобного балансу поверхні вугільних частинок, константа Гамакера:
1 – $A = 0,5 \cdot 10^{-19}$ Дж; 2 – $A = 1,5 \cdot 10^{-19}$ Дж; 3 – $A = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Одержані нами аналітичні криві $E_c(h)|_{A = \text{var}}$, а також $d_3 = 100$ мкм, $\varphi = 100$ мВ підтверджують цю тезу і показують, що збільшення гідрофобних властивостей вугільних частинок приводить до деякого зменшення висоти енергетичного бар'єру відштовхування і, відповідно, зменшення агрегативної стійкості ВВВС (рис. 4).

Висновки

Застосування теорії ДЛФО для аналізу енергетичного стану твердої фази висококонцентрованих водовугільних суспензій дозволяє пояснити природу явищ, які мають місце при зміні крупності і поверхневого потенціалу вугільних частинок, гідрофільно-гідрофобного балансу їх поверхні.

1. Як показує виконаний аналіз одержаних нами енергетичних кривих $E_c(h)$, при відносно малих поверхневих потенціалах вугільних частинок

Загальні питання технології збагачення

($\varphi < 50$ мВ) водовугільна суспензія агрегативно нестійка.

2. Збільшення крупності вугільних частинок грубодисперсних колоїдних систем, а також їх потенціалу в області $\varphi > 50$ мВ приводить до збільшення агрегативної стійкості водовугільних суспензій.

3. Для вугілля з поверхневим потенціалом $\varphi > 50$ мВ спостерігається збільшення відстані між вугільними частинками при їх фіксації у "другій потенціальній ямі" енергетичних кривих $E_c(h)$, що обумовлює збільшення частки води в складі ВВВС.

4. Зростання гідрофобності вугільної поверхні приводить до деякого зменшення агрегативної стійкості ВВВС.

Виконаний аналіз стосується ВВВС, які знаходяться в статичних умовах – або в нерухомому стані, або в ламінарному русі. В наступній роботі ми розглянемо поведінку ВВВС в динамічних умовах.

Крім того, перспективним напрямком досліджень є аналіз способів і засобів регулювання поверхневих властивостей вугільних зерен з метою досягнення потрібних технологічних властивостей висококонцентрованої водовугільної суспензії.

Список літератури

1. Делягин Г.Н. Водугольные суспензии – новый вид энергетического топлива // Строительство трубопроводов. – 1989. – № 8. – С.9–12.
2. Круть О.А. Водовугільне паливо. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
3. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. – 256 с.
4. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные и дисперсные системы. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
5. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
6. Ефремов И.Ф. Периодические коллоидные структуры. – Л.: Химия, 1971. – 192 с.
7. Дерягин Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. – М.: Наука, 1986. – 206 с.
8. Саранчук В.И., Айруни А.Т., Ковалев К.Е. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. – К.: Наукова думка, 1988. – 192 с.
9. Зубкова Ю.Н. Исследование электрокинетических свойств ископаемых углей // Химия твердого топлива. – 1973. – № 4. – С. 16–19.

© Круть О.А., Білецький В.С., Сергеев П.В., 2006

*Надійшла до редколегії 24.04.2006 р.
Рекомендовано до публікації к.т.н. Ю.Л. Папушиним*

УДК 622.776