

УДК 622.278

Шворнікова Г.М. к.т.н.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєверодонецьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ

Shvornikova A.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine (shvorni@mail.ru)

INVESTIGATION OF HIGHLY CONCENTRATED WATER- COAL SLURRIES STABILITY

У статті розглянуто фізико-хімічні властивості висококонцентрованих водовугільних суспензій. Виконано аналіз досліджень седиментаційної та агрегативної стійкості суспензій з різною концентрацією твердого компоненту. Визначено, що підвищення концентрації твердого компоненту у суспензії знижує її стійкість. Розглянуто питання впливу дисперсності твердого компоненту на стійкість суспензій, виготовлених з різних марок. Встановлено, що найбільш раціональною композицією водовугільної суспензії є бімодальний гранулометричний склад твердого компоненту. Також у роботі наведено результати досліджень впливу стабілізаторів та пластифікаторів на показники, що розглядаються в даній роботі.

Ключові слова: суспензія, стабільність, коагуляція, концентрація, дисперсність, пластифікатор, седиментація.

Вступ

Однією з найважливіших властивостей дисперсних систем є їх стійкість, тобто здатність зберігати свій первісний стан.

Рядом авторів теоретично розроблені та експериментально підтверджені уявлення про сили Ван-дер-Ваальсового тяжіння колоїдних часток. Тяжіння молекул, що обумовлене Ван-дер-Ваальсовими силами, складається з трьох компонентів: орієнтаційного, індукційного та дисперсного ефектів. Найбільш універсальними є дисперсні сили, які набувають особливого значення при взаємодії колоїдних часток. Оскільки дисперсні сили мало екрануються, тобто мало залежать від присутності сусідніх молекул, на відміну від інших сил молекулярного тяжіння, взаємодія між колоїдними частками отримується підсумовуванням дисперсного тяжіння між усіма молекулами, що утворюють обидві частки. Тому сили молекулярного (дисперсного) тяжіння колоїдних часток, простягаються на значні відстані і можуть викликати злипання часток, що наблизились одна до одної. З позицій фізичної кінетики молекулярне тяжіння часток є основною причиною коагуляції системи, її агрегативної нестійкості.

При наявності адсорбційного шару стабілізатора між колоїдними частинками поряд з молекулярним тяжінням одночасно діють сили відштовхування, які носять різний характер залежно від типу і властивостей стабілізатора [1].

Зміна молекулярних сил тяжіння і електростатичних сил відштовхування з відстанню відбувається різним чином. Тому на потенційній кривій взаємодії двох частинок є енергетичний бар'єр, який і визначає ймовірність незворотного злипання частинок.

Адсорбційні шари поверхнево-активних речовин (ПАР) в результаті теплового руху сегментів молекул, що утворюють ці шари, можуть бути також джерелом ентропійного відштовхувань колоїдних частинок (ентропійний фактор стійкості). Особливе значення ентропійний фактор стійкості набуває для колоїдних систем в присутності високомолекулярних стабілізаторів, довгі і гнучкі ланцюги яких здатні здійснювати мікроброуновський рух. При зближенні частинок, несучих адсорбційні шари з молекул такого стабілізатора, відбувається сильне зменшення ентропії адсорбційного шару, що протидіє агрегації частинок. Можливе й інше тлумачення ентропійного фактора стійкості, засноване на тому, що в результаті мікроброуновського руху гнучких ланцюгових молекул, адсорбованих тільки в окремих місцях на поверхні частинок, може виникнути їх осмотичне всмоктування адсорбційною оболонкою, що, звичайно, буде перешкоджати зближенню частинок та їх агрегуванню.

Мета

Метою статті є огляд і аналіз досліджень стабільності висококонцентрованих суспензій, а також визначення граничного строку збереження рівномірного розподілу твердої фази за обсягом суспензії.

Основний зміст досліджень

Седиментаційна стійкість характеризує здатність системи до рівномірного розподілу часток по всьому об'єму системи. Ця стійкість залежить від інтенсивності теплового руху частинок, впливу на них гравітаційного поля і в'язкості дисперсійного середовища. Колоїдні системи, що мають частки малого розміру, мають досить високу седиментаційну стійкість. Грубодисперсні системи, наприклад суспензії або емульсії, відносяться до седиментаційно нестійких систем.

Найбільше теоретичне і практичне значення має агрегативна стійкість колоїдних систем, тобто здатність часток не злипатися і зберігати первісний розмір. Агрегативна стійкість визначається властивостями поверхні або поверхневого шару на кордоні дисперсної фази і дисперсійного середовища, тобто визначається поверхневою енергією або силами, що діють між частинками в поверхневих (граничних) шарах.

При тривалому зберіганні водовугільних суспензій відбувається їх розшарування і випадання осаду твердої фази, що негативно впливає на гідродинамічні показники та теплотехнічні властивості суспензій.

Стійкість суспензії характеризується невідпадом осаду протягом певного часу. Швидкість випадання (осідання) часток певного розміру (радіусу r) в рідкому середовищі з динамічною в'язкістю μ визначається відповідно до закону Стокса за наступною формулою:

$$u = \frac{2}{9} \frac{r^2(\rho - \rho_0)g}{\mu}, \quad (1)$$

де u - швидкість осідання частинок у рідкому середовищі;

r - радіус частинки;

ρ та ρ_0 - відповідно щільність твердої фази та рідкого середовища;

g - прискорення сил тяжіння;

μ - динамічна в'язкість середовища.

Як видно з формули (1), швидкість осідання частинок, а отже, і стійкість суспензії дуже сильно залежать від дисперсності, тобто від розміру часток.

Цей закон справедливий теоретично для частинок сферичної форми і для суспензій малої концентрації. Практично на швидкість випадання частинок і, отже, на стійкість суспензій впливають не тільки розмір часток, в'язкість дисперсного середовища, різниця щільності частинок і рідини, але й концентрація часток, а також поверхневі сили, що сприяють їх коагуляції [2].

На рис. 1 показано вплив ступеня дисперсності частинок на стійкість суспензії з вугілля марки Г при 40%-ій концентрації твердої фази.

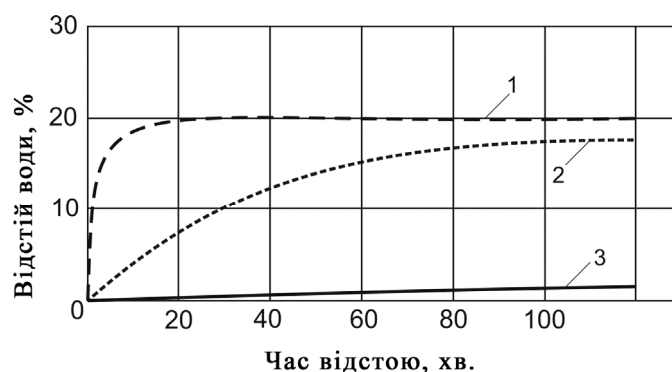


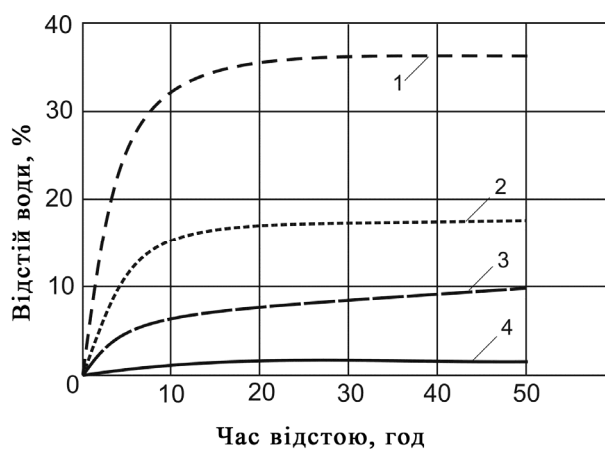
Рис. 1. Вплив ступеня дисперсності на стійкість водовугільних суспензій (газове вугілля)

З рис. 1 видно, що суспензія 2, яка характеризується більш дрібною фракцією частинок відстоюється повільніше і, отже, значно стійкіше суспензії більш великої фракції 1. У суспензії, приготовленої з вугілля дуже дрібною фракції 3, вода практично не відстоюється протягом дуже довгого часу. Крім того даний процес характеризується тим, що поступово настає стабільний стан кожної з розглянутих суспензій. Також видно, що монодисперсні суспензії або суспензії, що складаються з вузької фракції частинок, наприклад 100 - 160 мкм, найбільш нестійкі.

Ваговий вміст твердих частинок палива характеризує його концентрацію. В'язкість суспензії з великою концентрацією твердого палива, що перевищує 55%, вже надмірна, і за своєю плинністю (при звичайній температурі) суспензія нагадує пасту. Концентровані суспензії відрізняються меншою стійкістю і швидше розшаровуються. Стійкість суспензій зростає при їх безперервному перемішуванні, здійснюваному, наприклад, механічною мішалкою, насосом або яким-небудь з видів гомогенізаторів [1].

На рис. 2 показано вплив концентрації твердої фази на стійкість суспензії (вугілля СС) певної однакової дисперсності. При цьому концентрація змінювалася від 30 до 50%.

З характеру кривих на рис. 2 видно, що стійкість суспензії у великій мірі залежить від концентрації. Чим менше початкова концентрація, тобто чим більше початкове вміщення води у суспензії (W_H , %), тим більше швидкість осідання твердої фази (відстій води, %) в початковий момент часу і тим вище максимальна кількість відокремленої води.



1 - $W_H = 70,4$ %, $W_K = 56,6$ %; 2 - $W_H = 60$ %, $W_K = 51,9$ %;
3 - $W_H = 54,5$ %, $W_K = 51,5$ %; 4 - $W_H = 50$ %, $W_K = 49,5$ %

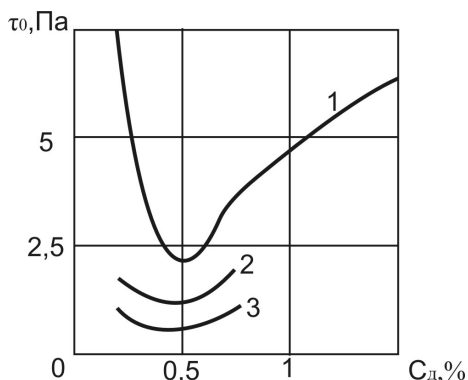
Рис. 2. Вплив концентрації твердої фази на стійкість суспензій (вугілля СС)

Для підвищення стійкості до водовугільних суспензій додають невелику кількість різних речовин (стабілізаторів), що зменшують злипання, або так звану коагуляцію (коалесценцію), яка, природно, викликає укрупнення частинок, утворення грудок і випадання осаду [1].

Для отримання водовугільної суспензії (ВВС) з необхідними для гідротранспорту та спалювання показниками дисперсності, концентрації та в'язкості застосовують пластифікуючі добавки. Деякі з них знижують в'язкість висококонцентрованих суспензій в десятки разів [2].

Практично всі основні класи поверхнево-активних речовин (ПАР) - комплексні добавки та можуть стабілізувати і знижувати в'язкість ВВС. Вплив кожної добавки на зміну в'язкості і стабільності можна визначити тільки експериментальним шляхом, варіюючи кількість добавок і їх композиції. Слід також зауважити, що добавки, значно знижують в'язкість ВУС та не завжди послаблюють їх розшарування. У ряді випадків виявляється доцільним застосування двох добавок [3].

Дослідження показали, що в якості добавки, стабілізуючої ВУС, можна використовувати пластифікатори НФК і ТПФН (триполіфосфат натрію). Визначення оптимального вмісту добавок проводилося на суспензії з ваговою концентрацією 66% на суху масу вугілля бімодального гранулометричного складу, приготовленої з дрібною (0 - 20 мкм) і великої (63 - 250 мкм) фракцій у співвідношенні 1:1. Залежність початкової напруги зсуву від вмісту добавок показана на рис. 3.



1 - без добавок; 2 - 0,5% добавок; 3 - 0,7% добавок

Рис. 3. Залежність початкової напруги зсуву τ_0 від вмісту добавок

Криві мають мінімум при 0,5% вмісту НФК. Ліва гілка кривої суттєво крутіше правої, тому допуск на відхилення вмісту пластифікатора в бік зменшення повинен бути, принаймні, в два рази жорсткіше, ніж у бік

його збільшення. Структурна в'язкість зі збільшенням вмісту НФК від 0,2 до 1,5% зростає приблизно на 20%, тобто порівняно незначна [4].

Використання пластифікатора в комбінації з НФК зменшує гідравлічні втрати приблизно на 30 - 50% в основному за рахунок зменшення величини напруги початкового зсуву. Характер кривих, що відображають зміну вмісту ТПФН від 0,5 до 0,7%, подібний характеру описаних вище кривих, але більш плавний. Оптимальний вміст НФК при додаванні ТПФН залишається тим же. Зі збільшенням вмісту ТПФН початкова напруга зсуву зменшується і прямує до нуля. Структурна в'язкість з введенням ТПФН збільшується приблизно на 20 - 25% і практично не залежить від його вмісту [4].

Таким чином, зниження поверхневої енергії, а значить більш стійкий стан системи, можливе або в результаті зменшення поверхні (коагуляція), або в результаті зменшення поверхневого натягу за рахунок адсорбції третього компоненту - стабілізатора на кордоні розділу фаз (стабілізація). Отже, присутність в системі стабілізатора може забезпечувати сталість розміру часток і є необхідною умовою існування колоїдної системи.

На базі лабораторії СНУ ім. В. Даля були проведені дослідження стабільності ВВС різного складу. Крім визначення седиментаційної та агрегативної стійкості в ході експерименту визначалося відношення щільності верхніх шарів до щільності нижніх залежно від часу. Результати експериментальних досліджень для проби ВВУ із заданою масовою концентрацією вугільного пилу (60% по масі), рідини (вода 39% по масі) і стабілізуючої добавки «Дофен» (1% за масою), представлені на рис. 4 і рис. 5.

Аналіз рис. 5 показує, що перехід на новий рівень співвідношення щільності визначає тривалість седиментаційної стабільності даної композиції який склав 72 години [5].

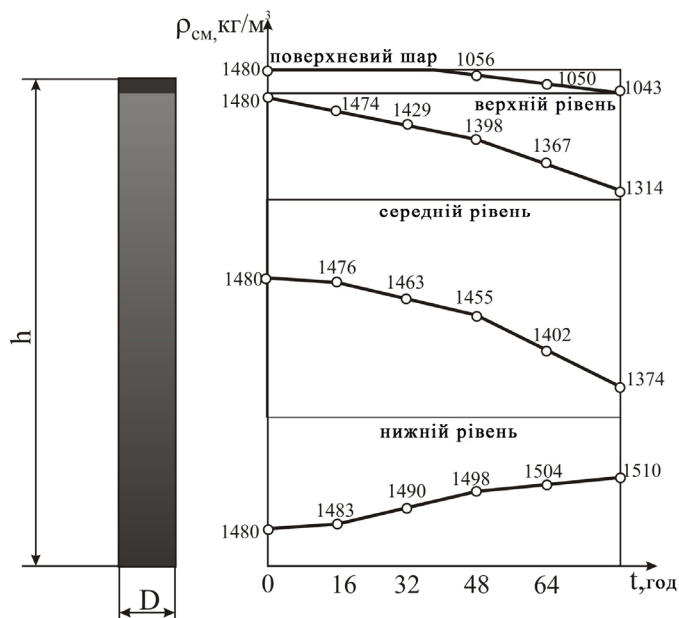


Рис. 4. Результати проведення досліджень седиментаційної та агрегативної стабільності ВВС

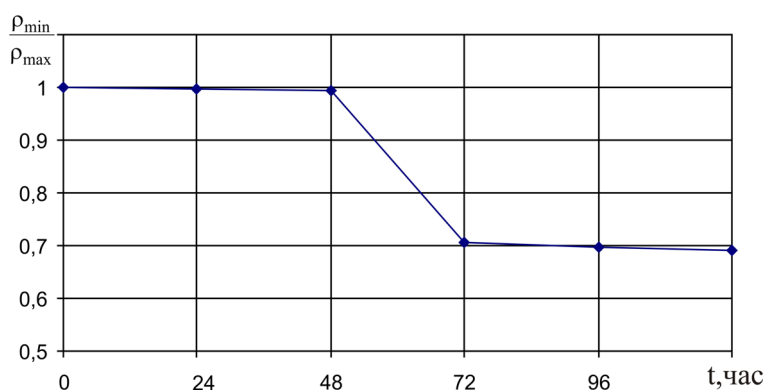


Рис. 5. Відношення щільності верхніх шарів до щільності нижніх залежно від часу

Висновки

1. Стабільність є одним з основних показників, що впливають на якість та ефективність гідротранспортування ВВС.

2. На стабільність ВВС впливає ступінь дисперсності частинок вугілля. Суспензії, які характеризуються більш дрібною фракцією частинок, значно стійкіші ніж суспензії більш великої фракції.

3. Висококонцентровані водоугільні суспензії відрізняються меншою стійкістю і розширюються швидше суспензій, в яких ваговий вміст твердих частинок менше.

4. Важливим фактором при приготуванні ВВС, який забезпечує необхідну стабільність, а також підвищує її транспортабельність є хімічні домішки (пластифікатори, стабілізатори та ін.). Досвід показує, що концентрація домішок в ВВС зазвичай знаходиться в інтервалі 0,5 - 1,5%.

Аннотация. Рассмотрены физико-химические свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий. Выполнен анализ исследований седиментационной и агрегативной устойчивости суспензий с разной концентрацией твердого компонента. Определено, что повышение концентрации твердого компонента в суспензии снижает ее устойчивость. Рассмотрены вопросы влияния дисперсности твердого компонента на устойчивость суспензий, изготовленных из различных марок. Установлено, что наиболее рациональной композицией водоугольной суспензии является бимодальный гранулометрический состав твердого компонента. Также в работе приведены результаты исследований влияния стабилизаторов и пластификаторов на показатели, рассматриваемые в данной работе.

Ключевые слова: суспензия, стабильность, коагуляция, концентрация, дисперсность, пластификатор, седиментация.

Abstract. The subject of the article is the ability to maintain its suspension stability over time.

The purpose of the article is to analyze the stability studies of highly concentrated suspensions and preservation of uniform distribution of solids by suspension volume.

We used analytical methods, experimental methods for determining the sedimentation rate of the particles and visual observation methods.

The article describes the physical and chemical properties of highly concentrated slurries. The analysis of research sedimentation and aggregation stability of suspensions with different concentrations of the solid component. Determined that increasing the concentration of solid component in the slurry reducing its stability. The questions influence of dispersion of a solid component of the suspensions stability made from different brands. Found that the most rational composition of water- coal suspension is bimodal size distribution of solid component. Also in the paper presents the results of studies of the effect of stabilizers and plasticizers on the amounts considered in this paper.

Keywords: suspension, stability, coagulation concentration, dispersion, plasticizer, sedimentation.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Брагин Б.Ф. Пульпы и суспензии: Учебное пособие / Б.Ф. Брагин, А.С. Коломиец. – К.: ИСДО, 1995. - с. 82-93.
2. Иванов В.М. Топливные эмульсии и суспензии / В.М. Иванов, Б.В. Контарович. – М.: 1963. - с.144-157.
3. Круть О.А. Водоугільне паливо / Круть О.А. – К.: Наук. думка, 2002.-172 с.
4. Транспортирование водоугольных суспензий: гидродинамика и температурный режим / А.С. Кондратьев, В.М. Овсянников, Е.П. Олофинский и др. – М.: Недра, 1988. – 213 с.
5. Чернецкая Н.Б. Исследование седиментационной стабильности водоугольных суспензий / Н.Б. Чернецкая, А.М. Шворникова, А.В. Кущенко // Вісник Інженерної академії України: зб. наук. праць. – К.: 2007. – Вип. 2-3. – С. 101-104.

References

1. Bragin B.F., Kolomiec A.S. Pul'py i suspenzii: Uchebnoe posobie (Pulp and suspensions: Textbook). Kiev: ISDO, 1995. pp. 82-93.
2. Ivanov V.M., Kontarovich B.V.. Toplivnye jemul'sii i suspenzii (Fuel emulsions and suspensions). M.: 1963. p.144-157.
3. Krut' O.A. Vodovugil'ne palivo (Water-coal fuel). Kyiv: Nauk. dumka, 2002. 172 p.
4. Kondrat'ev A.S., Ovsjannikov V.M., Olofinskij E.P. Transportirovanie vodougol'nyh suspenzij: gidrodinamika i temperaturnyj rezhim (Transportation of coal-water slurries: hydrodynamics and temperature conditions). M.: Nedra, 1988. 213 p.
5. Cherneckaja N.B., Shvornikova A.M., Kushhenko A.V. Issledovanie sedimentacionnoj stabil'nosti vodougol'nyh suspenzij (Investigation of the stability of coal-water slurries sedimentation). Visnik Inzhenernoї akademii Ukraїni: zb. nauk. prac'. Kyiv: 2007. Vip. 2-3. P. 101-104.

Подана до редакції 25.11.2014