

Ч. Чжао  
А.Ю. Годымчук  
(Томский политехнический университет, Томск, Россия)

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ НА ИХ СТАБИЛЬНОСТЬ В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ**

Благодаря магнитным свойствам, оксид железа в наноразмерном состоянии предлагается использовать для производства неорганических пигментов, создания цветных изображений, магнитно-термическое охлаждения, биологической обработки, ферромагнитных технологий и очистки сточных вод [1]. Однако, спрос на наночастицы привел к увеличению объемов их производства и, и созданию дополнительных источников выделения наночастиц в атмосферу, гидросферу и литосферу. При этом не смотря на положительное влияние есть данные о высокой токсичности наночастиц оксида железа по отношению к водным организмам [2].

Литературный обзор показал, что биологические свойства частиц сильно зависят от стабильности приготовленных водных суспензий [3], зависящей от формы частиц [4]. Поэтому высокую актуальность имеет изучение влияния условий пробоподготовки на стабильность наночастиц в гидрозольях. Однако, не смотря на высокую актуальность, до сих пор недостаточно работ, демонстрирующих влияние формы наночастиц на стабильность водных суспензий промышленных наночастиц. Поэтому целью данной работы являлось изучить влияние формы на стабильность наночастиц оксида железа в водной суспензии.

В работе исследовали промышленные частицы гематита ( $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) со средними размерами 30 (Nanografi, Турция) и 100 нм (Передовые порошковые технологии, Россия).

Морфологию исходных частиц изучали с помощью обработки изображений, полученных с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ, микроскоп VEGA3, Tescan, Чехия) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, микроскоп JEM-1400, Jeol, Япония). По данным ПЭМ и СЭМ строили распределение частиц на графике и анализировали методом Ферета. Результатами обработки являлись кривые изменения относительной ( $q$ ) и накопительной ( $Q$ ) частот для частиц с размером  $d$ .

Для исследования готовили сток-суспензии путем смешивания 20 мг частиц (весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность  $\pm 0,0001$ )

в пластиковом стакане с 50 мл дистиллированной воды ( $\text{pH}=6,5\pm 0,6$ , проводимость 0,2 мкС, Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия). Затем суспензии подвергали обработке в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт) в течение 15 мин.

Стабильность приготовленных суспензий изучали путем измерения скорости осаждения частиц через изменение коэффициента светопропускания ( $T$ , %), измеренного с помощью спектрофотометра PD-303 (Arel, Япония) при 340 нм в течение 60 мин ( $\Delta T$ , %).

Обработка данных ПЭМ показала, что, наночастицы имели средний размер 33 нм (диапазон распределения 8...80 нм, рис. 1б), 29 нм (диапазон распределения 13...59 нм, рис.2б) и 227 нм (диапазон распределения 67...425 нм, рис.3б). При этом только первый порошок включал частицы игольчатой формы (рис.1а), а остальные – сферической (рис.2а, 3а). Поэтому для оценки влияния формы взяли первые два порошка и обозначили их как  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-И}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-С}$ , имеющие соответственно, игольчатую и сферическую форму. А для сравнения размеры взяли частицы сферической формы, но разного размера  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-С}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-220-С}$  (рис.1б, 2б).

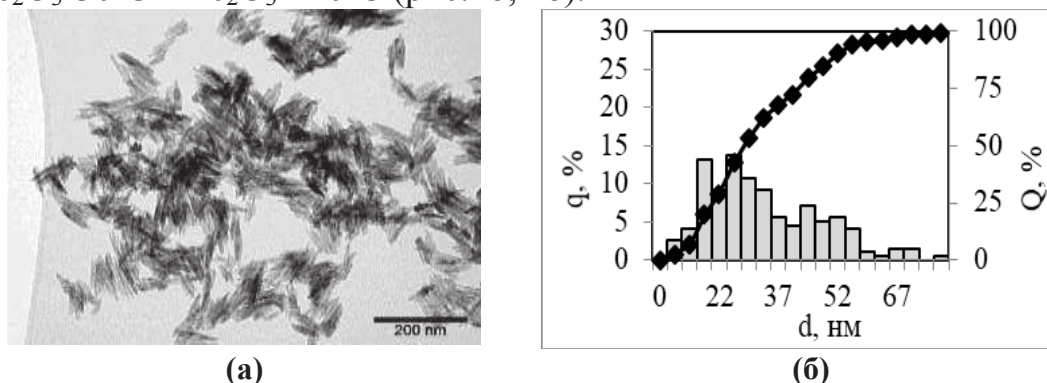


Рис. 1. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) для  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-И}$

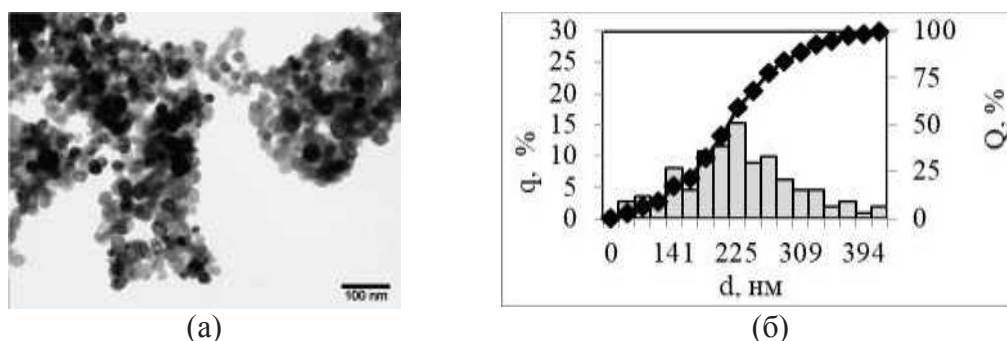


Рис. 2. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) для  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-С}$

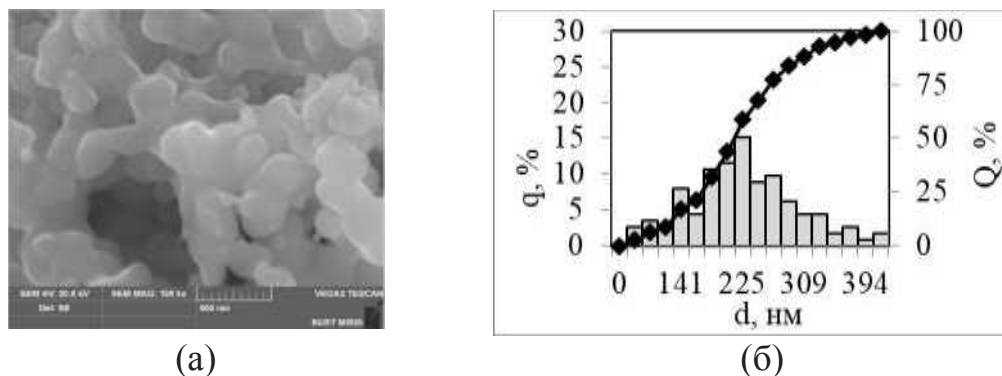


Рис. 3. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) для  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-220-C}$

Проведенный эксперимент по изучению седиментационных свойств позволил установить, что агрегаты игольчатых частиц осаждаются быстрее. Например, величина  $\Delta T$  составляет  $1,92 \pm 0,9$  и  $0,47 \pm 0,5$  %, соответственно для игольчатых частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-И}$  и сферических  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-C}$  (табл. 1). По всей видимости, для частиц с более развитой морфологией в суспензии образуются более крупные агрегаты, в результате чего на них сильнее действует сила гравитации и они быстрее осаждаются.

Также показано, что с увеличением размера частиц скорость осаждения увеличивается. Величина  $\Delta T$  частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-220-C}$  составляет  $14,25 \pm 0,6\%$ , что в 30 раз выше, чем для  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-30-C}$ .

Таким образом, в работе с помощью методов электронной микроскопии и спектрофотометрии показано влияние формы и размера промышленных наночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на скорость осаждения частиц в водной суспензии после ультразвуковой обработки. Установлено, что усложнение морфологии и уменьшение размеров частиц способствует образованию более стабильных водных суспензий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Xu H., et al. Selective preparation of nanorods and micro-octahedrons of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and their catalytic performances for thermal decomposition of ammonium perchlorate // Powder Technology. – 2008. – Vol.185. – P.176-178.
2. Liu G, et al. Applications and potential toxicity of magnetic iron oxide nanoparticles // Small. – 2013. – Vol 9. – Issue (9-10). – P.1533-1545
3. Schierz A., Zanker H. Aqueous suspensions of carbon nanotubes: surface oxidation, colloidal stability and uranium sorption // Environmental Pollution. – 2009. – Vol.157. – Issue (4). – P.1088-1094.
4. Mulvihill M.J., et al. Influence of size, shape, and surface coating on the stability of aqueous suspensions of CdSe nanoparticles // Chemistry of Materials. – 2010. – Vol.22. – Issue (18). – P.5251-5257.