

Разработка процессов получения и  
исследования физико-химических  
свойств наночастиц на основе  
оксидов железа и твёрдых растворов  
ферритов

## Актуальность исследования

- Использование магнитных порошков оксидов железа в качестве наполнителей для магнитоэлектрореологических суспензий (МЭРС) даёт огромный потенциал для развития таких инженерных технологий, как гидравлические системы, звукоусилителях, амортизирующих и фрикционных устройствах и т.д.
- Магнитные наночастицы представляют большой интерес для биомедицины (разработка высокоспецифичных диагностических систем и эффективных методов терапии).

## Цели исследования

- Синтез стабильной низкотемпературной фазы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с заданными свойствами.
- Установление возможности управления размерностью и морфологией поверхности частиц путём выбора условий и методики эксперимента.
- Установление возможности получения частиц типа «ядро– оболочка».
- Исследование влияния состава на реомеханические свойства магнитоэлектрореологических (МЭР) систем.

## **Объекты исследования:**

$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , нанокompозиты  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ .

## **Методы синтеза:**

- распылительный пиролиз;
- химическое осаждение.

## **Методы исследования:**

- просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия;
- инфракрасная спектроскопия;
- рентгенофазовый анализ.

## Метод распылительного пиролиза

### Пиролизу подвергались:

- водный раствор солей  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{FeSO}_4$ ;
- коллоидный раствор  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

При этом испытывались различные условия синтеза, такие как температура пиролиза, концентрация исходных растворов и влияние добавок ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{KCl}$ , ПАВ).

## Синтез методом химического осаждения

Маггемит  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  является высокотемпературной модификацией оксида железа, термодинамически стабильной при  $> 670^\circ\text{C}$ . По этой причине основной проблемой, рассматриваемой в данном разделе, было получение  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в метастабильном состоянии при низкой температуре.

Методики синтеза включают синтез прекурсоров различной химической природы и их окисление в контролируемых условиях. В качестве прекурсоров испытывали:

- $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ;
- золь  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;
- $\gamma\text{-FeOOH}$ .

*Условия синтеза и особенности состояния образцов оксида железа.*

№ образца	Прекурсор	Т°С	Форма частиц	Цвет	Фазовый состав
12	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	100	Сферические и игольчатые	Черный	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$
12'	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	300	Сферические	Коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
13	$\text{Fe}(\text{OH})_2$ , старение	100	Сферические	Черно-коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
13'	$\text{Fe}(\text{OH})_2$ , старение	300	Сферические	Коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
14	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Сферические	Черно-коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
14'	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	300	Сферические	Темно-коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
15	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ , старение	100	Сферические	Темно-коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
15'	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ , старение	300	Сферические	Коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
16	$\gamma\text{-FeOOH}$	100	Игольчатые	Желтый	$\gamma\text{-FeOOH}$
16'	$\gamma\text{-FeOOH}$	300	Игольчатые, сферические, столбчатые	Коричневый	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

## Основные выводы

- Пиролизом аэрозоля  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  с добавлением  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  и KCl получены частицы магнитной фазы оксида железа с необходимыми для биомедицинских применений размерами. Поверхность таких частиц модифицирована пленкой диоксида кремния.
- С помощью метода химического осаждения получены частицы метастабильной низкотемпературной фазы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Установлена возможность управления размерностью и морфологией поверхности частиц путём выбора условий и методики эксперимента.
- Реофизические измерения показали, что магнитоэлектрореологический эффект суспензии порошкообразного образца  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , синтезированного окислением  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и подвергнутого процедуре старения, оказался выше, чем суспензии частиц коммерческого образца  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  игольчатой формы, традиционно используемого в МРС.