

УДК 546.723`722-31

А.Х. Жакина, А.К. Амирханова, Г.К. Кудайберген\*, О.В. Арнт.

Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан  
100000, Караганда, ул. Алиханова, 1.

\* e-mail: gulshahar90@mail.ru

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД СИНТЕЗА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Сонохимическим методом, основанным на использовании сульфата двухвалентного железа с применением ультразвукового воздействия и без применения специальных органических реагентов – поверхностно-активных веществ и нагревания, получена магнитная жидкость. Установлены оптимальные условия её получения. С помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа установлен состав магнитной жидкости.

**Ключевые слова:** магнитная жидкость, сонохимический метод, магнетит, ультразвуковое облучение.

Как уже давно известно, магнитная жидкость (МЖ) представляет собой тип материала, состоящий из магнитных оксидов железа – маггемита и магнетита, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости, в качестве которой, обычно, выступает органический растворитель или вода. В качестве стабилизатора магнитной жидкости используют растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ)[1-2].

МЖ представляет собой коллоидный раствор, и процесс ее получения состоит из двух основных стадий: получения магнитных частиц коллоидных наноразмеров и стабилизации их в жидкой основе.

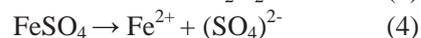
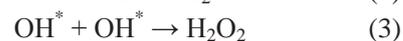
Наночастиц МЖ, помимо ярко выраженных магнитных свойств, также обладают высокой электропроводностью, что позволяет использовать их в качестве электродов. Из литературных данных также установлено, что МЖ проявляют сорбционную активность относительно тяжелых металлов, фенолов, нефти и нефтесодержащих органических веществ и мн. др [3-4]. МЖ можно использовать как элемент, встраиваемый в различные сорбенты для очистки водной поверхности, так как при удалении уже использованных сорбентов можно использовать магнитную сепарацию. В связи с этим, актуальной проблемой является получение магнитной жидкости с малыми экономическими затратами по сравнению с промышленным получением МЖ.

Одним из классических методов получения МЖ является химическая конденсация по реакции В.С. Эльмора [5]. Известно, что при взаимодействии двух- и трехвалентных солей железа образуются нанодисперсные частицы магнетита. Но на данный момент этот метод является энергозатратным, в связи с высокой стоимостью исходных реагентов. Альтернативным способом получения МЖ можно назвать сонохимический метод, основанный на получении нанопорошков простых и сложных веществ с заданными свойствами с использованием ультразвукового облучения (УЗО) без применения специальных органических реагентов – поверхностно-активных веществ. Физико-химический эффект ультразвука основывается на акустической кавитации, которая возникает благодаря формированию, росту и имплозивному

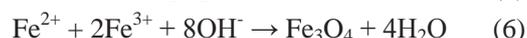
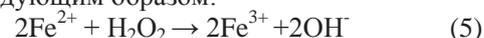
разрушению пузырьков в жидкости. Следует отметить, что механизмы протекания сонохимических реакций в гомогенных жидкофазных системах к настоящему времени достаточно хорошо изучены.

Химическая реакция в сонохимическом методе обусловлена интенсивными ультразвуковыми волнами, которые достаточно высоки, чтобы вызывать окисление, восстановление, растворение, разложение. Ультразвуковое облучение водных жидкостей генерирует свободные радикалы  $\text{H}^\bullet$  и  $\text{OH}^\bullet$ . Эти радикалы могут рекомбинироваться, чтобы вернуть свою первоначальную форму или объединяться, чтобы произвести  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$ , и эти сильные окислители и восстановители, в свою очередь, используются в ходе различных сонохимических реакций в водных средах.

Механизм реакции сонохимического метода получения МЖ можно представить следующим образом:



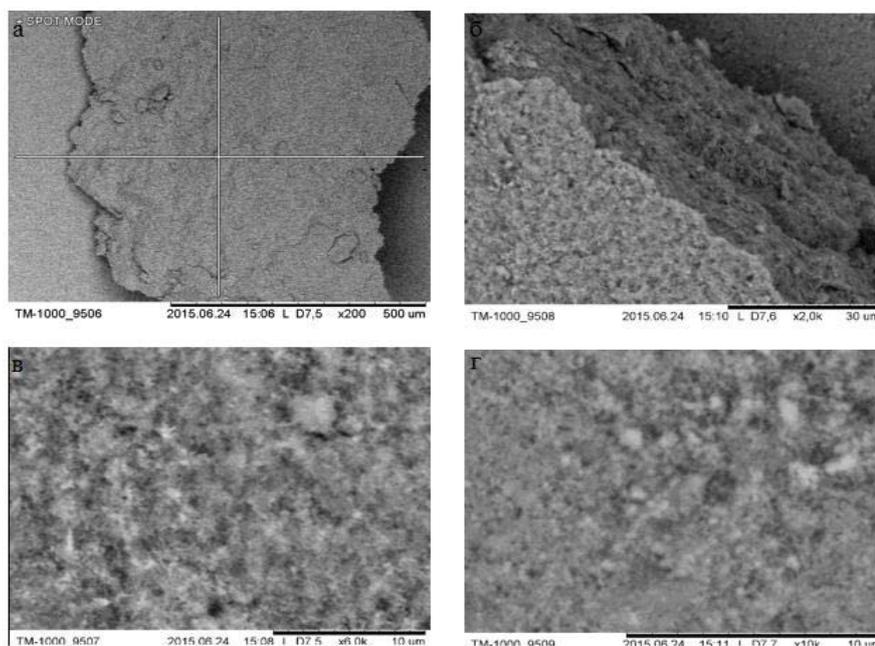
Образовавшийся окислитель – перекись водорода, генерируется и инициирует окисление  $\text{Fe}^{2+}$  следующим образом:



Таким образом, в лабораторных условиях сонохимическим методом нами получена МЖ путем осаждения из раствора сульфата железа (II) под действием ультразвука. В качестве источника ультразвука использована ультразвуковая установка ИЛ 100-6/2 с максимальной мощностью 1200 Вт и цилиндрическим волноводом. Реактор оснащен ультразвуковым генератором ИЛ10-1.0 с магнитострикционным преобразователем рабочей частотой 22 кГц. Осаждение магнитной жидкости проводили по следующей методике: раствор сульфата железа (II) облучаем ультразвуком в течение нескольких минут при частоте 22 кГц при интенсивном перемешивании и комнатной

температуре. По истечении определенного времени облучения добавляем в реакционную емкость раствор аммиака ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) и продолжаем облучать еще некоторое время. По окончании облучения, осадок в виде коллоидной суспензии промываем дистиллированной водой до тех пор, пока pH маточного раствора не достигнет нейтральной среды. Коллоидный осадок отделили центрифугой при скорости 4000 об/мин и высушивали при комнатной температуре.

На рисунке 1 приведен топографические изображения синтезированной магнитной жидкости. По данным электронной микроскопии, проведенной на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi TM 1000, структурные единицы магнитной жидкости ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), полученные сонохимическим методом имеют сферическую форму и состоят из агрегатов оксида железа  $\alpha\text{-Fe}_3\text{O}_4$ , полученных в результате контролируемой реакции обмена.



Увеличение: а -  $\times 200$ ; б -  $\times 2000$ ; в -  $\times 6000$ ; г -  $\times 10000$ .

Рис.1. Электронно-микроскопические снимки магнитной жидкости ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) на СЭМ

Детальное исследование морфологии поверхности магнитной жидкости показало, что поверхность образца неоднородная. Размер частиц составляет до 100 нм, что обусловлено применением ультразвукового воздействия. Как известно, физический метод является эффективным и уникальным. УЗО обеспечивает возникновение в жидких средах кавитационных парогазовых пузырей, накапливающих энергию при их

расширении и взрывающихся при сжатии с созданием ударных волн и кумулятивных струй. В нашем случае, воздействие проводилось на рабочей частоте 22 кГц. В результате ультразвукового воздействия была получена МЖ с высоким содержанием железа, что подтвердилось данными рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа (рис. 2).

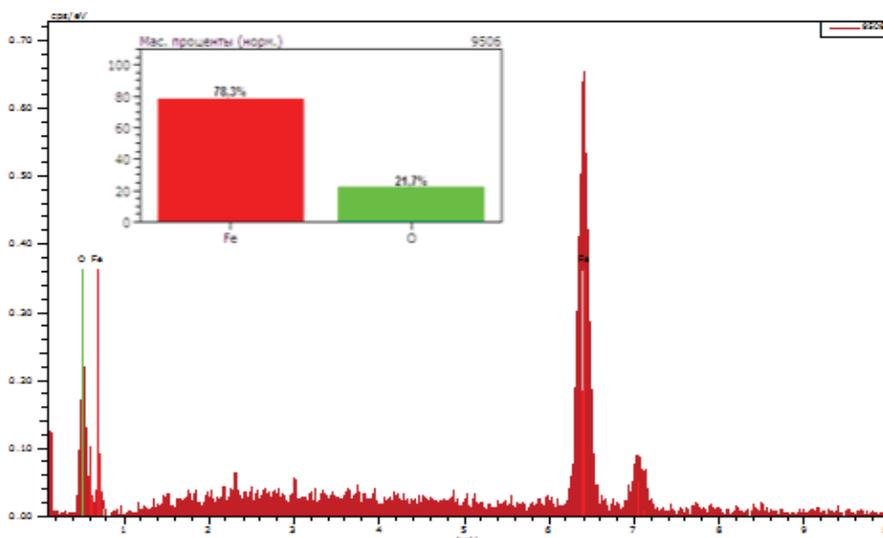


Рис. 2. Результаты рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа элементного состава МЖ

Данные рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа полностью подтверждает состав магнитной жидкости. По результатам рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа элементный состав магнитной жидкости, полученной сонохимическим методом, соответствует 78,3% Fe и 21,7% O. Проведенный рентгенофазовый анализ также подтвердил, что синтезированная магнитная жидкость содержит магнетит, а не гидроксиды или другие соединения катионов железа. В ходе исследования нами изучено влияние различных факторов (концентрация исходного реагента, время облучения раствора, концентрация осадителя) на процесс получения

стабильной магнитной жидкости. Установлены наиболее оптимальные условия получения магнитной жидкости с хорошей магнитной восприимчивостью: раствор 1 М FeSO<sub>4</sub>, время облучения 75 минут и использование в качестве осадителя 7,5 М раствор NH<sub>4</sub>OH.

Полученные результаты показывают, что сонохимический метод, основанный на использовании сульфата двухвалентного железа с применением ультразвукового воздействия и без применения специальных органических реагентов – поверхностно-активных веществ, является наиболее дешевым и простым методом получения магнитной жидкости.

*Жакина Алма Хасеновна, зав. лаб. Химии полимеров Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Казахстан, Караганда.*

*Амирханова Айтжан Кабжановна, в.н.с. лаб. Химии полимеров Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Казахстан, Караганда.*

*Кудайберген Гулшахар Кудайбергенкызы, м.н.с. лаб. Химии полимеров Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Казахстан, Караганда.*

*Арнт Оксана Васильевна, м.н.с. лаб. Химии полимеров Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Казахстан, Караганда.*

#### Литература

1. Laurent S., Forge D., Port M., Roch A., Robic C., Vander Elst L., Muller R.N. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications // Chem. Rev. - 2008. V.108. - P. 2064.
2. Cornell R.M., Schertmann U. Iron oxides in the laboratory; preparation and characterization. Weinheim: VCH, 1991. - 183 p.
3. Анисимова Н.Ю., Сенатов Ф.С. и др. Исследование сорбционных свойств ферромагнитных наночастиц // Фундаментальные исследования. - 2011. - №11. - С. 263-265.
4. Яновский Ю.Г. Сравнительное исследование сорбционной эффективности и структуры поверхности нано- и микроразмерных магнитоуправляемых частиц для их использования в медицине и биологии // Технологии живых систем. - 2007. - Т.4, №5-6. - С.73.
5. Elmore W.C. Ferromagnetic Colloid for Studying Magnetic Structures // Phys. Rev. - 1938. V. 54. N. 4. - P. 309.

*Zhakina Alma Khasenovna, Amirkhanova Aitzhan Kabzhanovna, Kudaibergen Gulshakhar Kudaibergenkyzy\*, Arnt Oxana Vasilevna.*

Institute of organic synthesis and coal chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan  
100000, Karaganda, Alikhanova St., 1.

\* e-mail: gulshahar90@mail.ru

#### THE ULTRASOUND METHOD OF SYNTHESIS OF MAGNETIC FLUID

##### Abstract

The magnetic fluid is obtained by sonochemical method based on the use of ferrous sulfate using sonication and without using special organic reagents - surfactants and heating. Receipt its the optimal conditions. Using scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis established the composition of the magnetic fluid.

**Key words:** magnetic fluid, sonochemical method, magnetite, ultrasonic irradiation