

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



УДК 621.892

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ СИНТЕЗА МАГНИТНЫХ СМАЗОЧНЫХ НАНОМАСЕЛ НА ОСНОВЕ ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*А.Н. Болотов, О.О. Новикова, А.В. Новиков**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Болотов А.Н., Новикова О.О., Новиков А.В., 2021

Аннотация. Разработано оборудование для экспериментальных исследований реологического поведения магнитных наножидкостей. Указано, что конструкция магнитного ротационного вискозиметра позволяет измерять стандартные характеристики коллоидных систем и устанавливать структурные особенности жидкостей при сдвиговых напряжениях в широком диапазоне магнитных полей. Реализован новый способ повышения антифрикционных и противоизносных свойств магнитных наномасел. Предложено оценивать энергию активации химической реакции стабилизации коллоидных систем с помощью полимеров на основе результатов вискозиметрических исследований. Исходными данными для расчета являются экспериментальные реологические кривые, снятые на промежуточных этапах синтеза полимерных оболочек на дисперсных частицах в процессе получения магнитных наножидкостей. Оценена скорость реакции полимеризации в зависимости от температуры. Отмечено, что полученные результаты позволят получать магнитные масла с заданными реологическими и триботехническими свойствами.

Ключевые слова: коллоидные системы, магнитная наножидкость, магнитные смазочные наномасла, вискозиметрические исследования, энергия активации.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-85-95

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большой научный и практический интерес вызывают коллоидные системы, содержащие нанодисперсную магнитную фазу [1–6]. Такие системы принято называть магнитными нанодисперсными жидкостями, или наножидкостями. Магнитные свойства жидкостям придают твердые ферри, или ферромагнитные частицы размером от 10 до 100 нм. Добавление в несущую жидкую основу магнитных частиц приводит к существенному изменению их физических свойств. Существуют различные методы исследования магнитных наножидкостей, позволяющие глубже раскрыть их свойства и, следовательно, полноценно использовать в научных и практических целях [7, 8].

Наиболее широко в исследованиях магнитных наножидкостей применяют магнитометрические методы [9, 10], которые дают возможность установить особенности процессов намагничивания и перемагничивания магнитных коллоидов, агрегации частиц, структурирования и т. д. Не менее часто используют методы реометрии для

экспериментального определения реологического поведения магнитных наножидкостей. Экспериментальное изучение процессов течения магнитной наножидкости позволяет получать новые выводы о механизме диссипативных процессов, структурной стабильности и определить такие параметры частиц, как, например, гидродинамический размер и геометрия.

Важность измерения реологических свойств магнитных наножидкостей обусловлена также необходимостью постоянного технологического контроля их производства. Существенные отклонения реологических свойств наножидкостей от принятых норм могут не только снизить качество готовых технических устройств, но и привести к их выходу из строя.

Одной из разновидностей магнитных наножидкостей являются магнитные смазочные наномасла, которые перспективны для триботехнических систем [11–13]. Схематично технологии синтеза магнитных наножидкостей и наномасел в основном совпадают. Однако более высокие требования к коллоидной стабильности наномасел в условиях фрикционного контакта диктуют необходимость в новых подходах к синтезу защитных оболочек на частицах. Предложено для получения стабильных наномасел защищать частицы полимерными оболочками, синтезированными в ходе получения наномасел. Для более глубокого понимания процесса поликонденсации желательно знать энергию активации этого процесса. Кроме того, знание энергии активации позволяет контролировать технологический процесс получения наномасел с изначально заданными реологическими свойствами, зависящими от конкретных условий применения их в трибоузлах. Предложен новый физико-химический подход к определению энергии активации, основанный на реологических измерениях.

Цели работы – проектирование и реализация конструкции магнитного ротационного вискозиметра для исследования реологических свойств магнитных наножидкостей, а также разработка нового подхода к определению энергии активации процесса поликонденсации сольватных оболочек на основе вискозиметрических исследований.

КОНСТРУКЦИЯ МАГНИТНОГО КОАКСИАЛЬНОГО ВИСКОЗИМЕТРА

Для исследования реологических свойств магнитных наножидкостей разработан ротационный вискозиметр (рис. 1). За основу взята конструкция, состоящая из двух вращающихся коаксиальных цилиндров, в зазор между которыми вставлен колоколообразный тонкостенный измерительный цилиндр (такие вискозиметры обычно называют вискозиметрами колоколообразного типа). Магнитный вискозиметр предназначен для реологических исследований в режиме, когда скорость вращения (градиент скорости сдвига) остается постоянной.

Цилиндрический корпус прибора 1 и магнитопровод 3 из магнитомягкой стали Ст3 установлены коаксиально на едином основании. Внутри корпуса установлен постоянный магнит 2, изготовленный из сплава SmCo_5 , обладающего хорошей температурной стабильностью (вплоть до 200 °С). К одной из полярных поверхностей магнита примыкает цилиндрический магнитопровод 3 с осевым отверстием. Магнит 2 и цилиндр 3 центрируются немагнитным кольцом 4. На магнитопровод 3 надета немагнитная втулка 5, определяющая рабочий зазор прибора, заполняемого исследуемой жидкостью.

Магнитная система, образованная магнитом 2, корпусом 1, цилиндром 3, втулкой 5, создает радиальное поле в рабочем зазоре 9 между коаксиальными магнитными цилиндрами. Для дискретного уменьшения магнитного поля в рабочем зазоре,

заполненном жидкостью, на дно зазора помещают магнитопроводящие кольца различной толщины, выполняющие роль магнитных шунтов. Эффект достигается за счет того, что часть магнитного потока, создаваемого постоянным магнитом, проходит через кольцо и не попадает в зазор. Таким образом, индукция магнитного поля в зазоре регулируется практически от нуля до 0,26 Тл.

Образовавшиеся кольцевые зазоры 9 заполняются исследуемой жидкостью. Небольшая относительная величина зазора позволяет создать однородное магнитное поле в изучаемой жидкости.

В рабочую область между коаксиальными цилиндрами вставлен колоколообразный тонкостенный цилиндр 6 из немагнитного алюминиевого сплава Д16, который для центрирования насажен на ось 7. Для снижения трения оси колоколообразного цилиндра и электрической изоляции его от корпуса на поверхность оси наносили антифрикционное полимерное покрытие толщиной около 5 мкм с хорошими диэлектрическими свойствами. Высота слоя жидкости, находящейся в контакте с полым цилиндром 6, может изменяться от 0 до 30 мм; точное значение высоты слоя жидкости легко определяется по следу, оставленному ей на поверхности цилиндра 6. Приведенная конструкция прибора отличается простотой достижения концентрического расположения цилиндрических измерительных поверхностей.

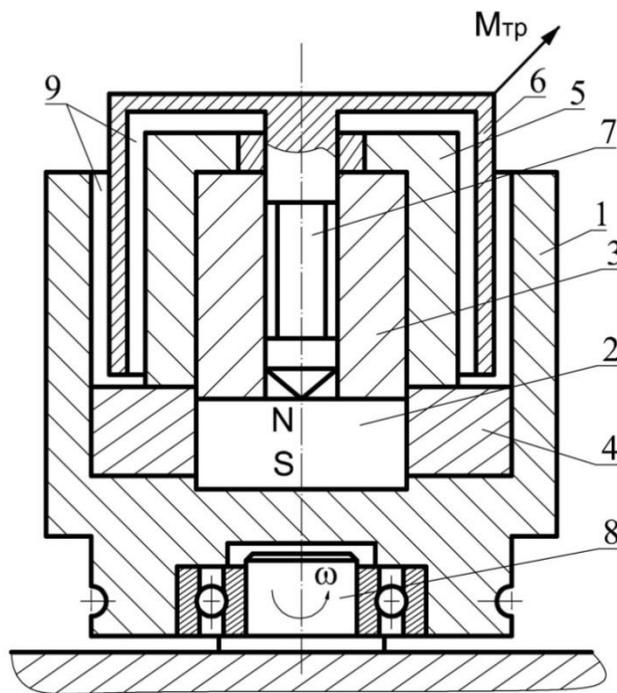


Рис. 1. Схема измерительного узла ротационного вискозиметра:

- 1 – коаксиальный цилиндр; 2 – постоянный магнит; 3 – магнитопровод;
4 – немагнитное кольцо; 5 – втулка; 6 – колоколообразный цилиндр; 7 – ось;
8 – подшипник качения; 9 – кольцевые зазоры;

$M_{тр}$ – момент силы трения; S, N – полюса магнита; ω – угловая скорость

Корпус прибора 1 базируется на наружном кольце подшипника качения 8 (см. рис. 1). Внутреннее кольцо подшипника неподвижно закреплено на станине. В

нижней части корпуса прибора имеется шкив для осуществления его вращения приводным ремнем. Чтобы организовать вращение коаксиальных цилиндров, использовали высоко-скоростной коллекторный двигатель постоянного тока, подключенный к многоступенчатому редуктору для снижения скорости вращения и повышения вращающего момента. Вращение от редуктора к корпусу прибора передавалось с помощью ременной передачи. Изменяя скорость вращения электродвигателя, добивались необходимого градиента скорости сдвига в исследуемой жидкости. Для сохранения вращающего момента электродвигателя при изменении скорости вращения управление его работой осуществлялось ШИМ-контроллером. Скорость вращения корпуса прибора изменялась в диапазоне от 0,1 до 600 об/мин. Для установления заданной скорости вращения коаксиальных цилиндров бесконтактно измеряли скорость вращения электродвигателя с помощью лазерного тахометра АТ-6. Прибор позволяет измерять частоту вращающихся тел в диапазоне $2-10^4$ об/мин с точностью до 0,05 % и разрешением 0,1 об/мин.

Для измерения вращающего момента, действующего на колоколообразный цилиндр, применяли тензорезисторный датчик с упругим элементом в виде консольной балки. Сила, действующая на измерительный цилиндр, передавалась на тензобалку через тонкую нерастяжимую нить. Балка изготавливалась из рессорно-пружинной стали 50ХГ, отличающейся увеличенным пределом текучести. Результирующая сила, действующая на тензобалку, складывается из силы внутреннего трения в магнитной наножидкости и силы внешнего трения на оси измерительного цилиндра.

Контроль повышения температуры исследуемой жидкости в результате тепловыделения от внутреннего трения производился косвенно по температуре поверхности неподвижного цилиндра 6 (см. рис. 1). Температура поверхности измерялась бесконтактно с помощью пирометра. Относительная ошибка измерения температуры не превышает 1 %, разрешающая способность прибора 0,1 °С. Пирометр был настроен для измерения температуры поверхности с коэффициентом излучения, равным 0,95. Чтобы соблюсти это условие, нерабочую поверхность измерительного цилиндра покрыли белой краской, содержащей окись цинка.

При дискретном изменении скорости вращения устанавливалась зависимость момента трения от частоты вращения и затем рассчитывалась зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига. Измерения прекращались, если температура внешнего вращающего цилиндра повышалась более чем на 1,5 °С.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ НАНОЖИДКОСТЕЙ – СМАЗОЧНЫХ НАНОМАСЕЛ

Для достижения требуемых антифрикционных и противоизносных свойств магнитных наномасел был предложен способ стабилизации коллоидных систем с помощью полимеров [14]. Однако он не получил широкого распространения из-за низкой намагниченности получаемых масел, вызванной применением полимеров с большой молекулярной массой, приводящей к росту вязкости коллоида и уменьшению объемной доли магнитных частиц.

Разработана технология получения магнитных наномасел путем синтеза полимерных сольватных оболочек непосредственно на магнитных частицах [15]. Ее успешная реализация определяет необходимость разработки нового подхода к вискозиметрическим исследованиям кинетических особенностей протекания реакции синтеза полимерных оболочек на дисперсных частицах в процессе получения магнитных

наножидкостей – смазочных наномасел.

Рассмотрим зависимость скорости реакции синтеза полимерных оболочек от времени (рис. 2), полученную с помощью магнитного ротационного вискозиметра. Временная зависимость вязкости наномасла представляет собой зависимость вязкости от степени конверсии мономера. Установленная экспериментально динамика изменения вязкости магнитного коллоида характерна именно для радикальной полимеризации, протекающей по цепному механизму [16].

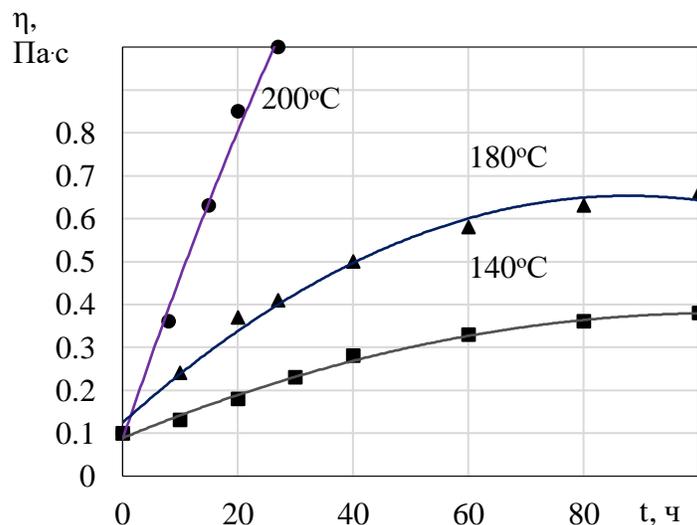


Рис. 2. Зависимость вязкости магнитного коллоида на основе диэфиров карбоновых кислот от времени синтеза полимерных оболочек при различных температурах

Скорость роста ν цепи можно принять равной скорости исчезновения мономера [17], так как расход мономера в реакциях инициирования и переноса цепи пренебрежимо мал:

$$\nu = -\frac{d[M]}{dt}, \quad (1)$$

где t – время; $[M]$ – концентрация мономера.

После некоторых преобразований скорость реакции роста цепи можно представить следующим образом:

$$\nu = K[I]^{1/2}[M]; \quad (2)$$

$$K = \frac{K_i^{1/2}K_g}{K_b^{1/2}},$$

где $[I]$ – концентрация инициатора; K_i , K_g , K_b – константы скорости инициирования, роста и обрыва цепи соответственно.

Используя уравнение Аррениуса, описывающее влияние температуры на скорость химических реакций, можно переписать выражение (2) так:

$$\ln v = A_1 [M][I] \exp\left(-\frac{E}{R_k T}\right); \quad (3)$$

$$E = E_s + \frac{E_i}{2} + \frac{E_b}{2},$$

где A_1 – предэкспоненциальный множитель (не зависит от температуры); R_k – универсальная газовая постоянная; T – температура; E – суммарная энергия активации полимеризации; E_i , E_s , E_b – энергия активации стадии инициирования, роста и обрыва цепи соответственно.

Энергия активации – эмпирически определяемый параметр, характеризующий показательную зависимость константы скорости реакции от температуры. Скорость химической реакции зависит от величины энергии активации. При этом если энергия активации мала, то за единичное время энергетический барьер преодолет большое число молекул, поэтому скорость реакции будет высокой; если же энергия активации велика, то энергетический барьер преодолет меньшее число молекул, и реакция будет протекать медленно.

Прологарифмируем уравнение (3) и получим удобное для дальнейшего анализа выражение:

$$v = \text{const} - \frac{E}{R_k T}. \quad (4)$$

Вязкость η магнитных наножидкостей в первом приближении можно выразить через вязкость дисперсионной среды η_0 , пользуясь формулой, полученной А. Эйнштейном:

$$\eta = \eta_0 (1 + a\varphi), \quad (5)$$

где a – коэффициент; φ – объемная концентрация дисперсных частиц.

Коэффициент a изменяется от 2,5 при малых концентрациях частиц до 25 при умеренных концентрациях, далеких от значения, соответствующего плотной кубической упаковке. Объемную концентрацию можно выразить через концентрацию частиц в коллоиде n , объем частиц V_p и объем сольватной оболочки V_s : $\varphi = n(V_p + V_s)$. Объем сольватной оболочки приблизительно равен ($V_s \approx V_m N$, где V_m – эффективный объем мономера; N – количество мономеров на поверхности частиц в составе олигомера). С учетом формулы (5) вязкость магнитного коллоида

$$\eta = \eta_0 \left[1 + an(V_p + V_m N)\right]. \quad (6)$$

Продифференцировав уравнение (6) по времени, получим

$$\frac{d\eta}{dt} = \eta_0 an V_m \frac{dN}{dt}. \quad (7)$$

В выражении (7) (см. формулу (1))

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{dM}{dt} = -v.$$

Приведенные на рис. 2 экспериментальные зависимости вязкости магнитного наномасла можно аппроксимировать с хорошей точностью уравнением

$$\eta = (4535 + 840t - 15t^2) \exp(-4700/T). \quad (8)$$

В уравнении (8) численные коэффициенты подобраны таким образом, чтобы размерность вязкости была выражена в единицах динамической вязкости (Па·с), время – в часах, температура – в Кельвинах. Если продифференцировать последнее выражение по времени и учесть выражение (7), тогда можно записать, что

$$v = A_2 \exp(-4700/T), \quad (9)$$

где A_2 – величина, слабо зависящая от времени.

Небольшая зависимость A_2 от времени отражает постепенное уменьшение скорости реакции синтеза оболочек частиц из-за конверсии мономера. После логарифмирования уравнения (9) получим выражение

$$\ln v = \text{const} - 4700/T. \quad (10)$$

Если сравнить выражения (4) и (10), то становится понятно, что суммарная энергия активации полимеризации будет приблизительно равна 39 кДж/моль. Такая энергия активации характерна для реакций с участием радикалов, протекающих относительно быстро. Знание энергии активации позволяет более детально понять кинетику радикальной реакции полимеризации и прогнозировать реологические свойства магнитного наномасла на стадии получения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена конструкция магнитного ротационного вискозиметра, исследования на котором могут проводиться в широком диапазоне значений индукции магнитного поля. Вискозиметр позволяет измерять стандартные характеристики магнитных наножидкостей (коэффициент вязкости, пластическую вязкость, предельное напряжение сдвига и др.), а также изучать структурные особенности жидкостей при сдвиговых напряжениях. Скорость сдвига в жидкости может стабильно поддерживаться в широком диапазоне, а именно $1-5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$.

Процесс образования полимеров характеризуется энергией активации химической реакции между мономерами. Предложен новый подход для определения энергии активации химической реакции полимеризации. Исходные данные для расчета энергии активации получены из экспериментальных реологических кривых, снятых на промежуточных этапах синтеза оболочек. С помощью энергии активации представляется возможным оценить скорость реакции полимеризации в зависимости от температуры и более подробно описать ее химический механизм. Прикладное значение полученных результатов заключается в том, что с их помощью можно получать магнитные масла с заданными реологическими свойствами, целенаправленно изменяя время и температуру синтеза полимерных оболочек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фертман В.Е. Магнитные жидкости: Справочное пособие. Минск: Высшая школа. 1988. 184 с.
2. Pei L., Gong X., Xuan S. Recent progress on the simulation technology of magnetic fluid // *Chinese Science Bulletin*. 2019. Vol. 64. Iss. 15, pp. 1567–1582.
3. Болотов А.Н., Новикова О.О., Новиков В.В. Магнитные силоксановые наножи́дкости, адаптированные для условий граничного трения // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2020. № 12. С. 546–556. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.546
4. Qiu H.Z., Yan H., Zhang P., Liu Q., Tang L. Friction properties of carbonyl iron-based magnetorheological fluid // *Mosaxue Xuebao. Tribology*. 2009. Vol. 29 (1), pp. 61–67.
5. Байбуртский Ф.С. Магнитные жидкости: способы получения и области применения. URL: <http://maimeticliquid.narod.ru/autoritv/008.htm> (дата обращения: 20.08.2021).
6. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. К вопросу о диэлектрическом критерии коллоидной устойчивости магнитных жидкостей // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2017. № 1 (31). С. 93–98.
7. Polunin V.M., Ryapolov P.A., Storozhenko A.M., Shabanova I.A. Structural-acoustic analysis of a nanodispersed magnetic fluid // *Russian Physics Journal*. 2011. Vol. 54 (1), pp. 9–15.
8. Reino L.A.T., Lima T.M., Costa A.S., Bakuzis A.F., Santos C.M.B., Sartoratto P.P.C., Morais P.C. Investigation of colloidal stability and insulation characteristics of magnetic oils // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2012. Vol. 12 (12), pp. 9319–9324.
9. Болотов А.Н., Новикова О.О. Мобильный магнитометр для экспресс-теста намагниченности насыщения магнитных наножи́дкостей // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2020. № 12. С. 557–570. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.557
10. Li W., Zhang Z., Li D. Rheological properties of silicon oil-based magnetic fluid with magnetic nanoparticles (MNPs)-multiwalled carbon nanotube (MWNT) // *Smart Materials and Structures*. 2019. Vol. 28 (6), pp. 065023.
11. Uhlmann E., Spur G., Bayat N., Patzwald R. Application of magnetic fluids in tribotechnical systems // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2002. № 252 (1), pp. 336–340.
12. Chen S.F., Zheng M.H., Wang Z.L., Wang Y.B. Research on anti-wear property of synthetic oil-based polymeric α -olefin nano Fe_3O_4 ferrofluids // *Binggong Xuebao/Acta Armamentarii*. 2009. Vol. 30 (4), pp. 457–460.
13. Болотов А.Н., Новиков В.В., Новикова О.О. Смазочные масла, полученные модифицированием магнитных наножи́дкостей // *Материаловедение*. 2019. № 11. С. 29–35. DOI: 10.31044/1684-579X-2019-0-11-29-35
14. Неппер Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами. М.: Мир, 1986. 487 с.
15. Болотов А.Н., Новикова О.О. Смазочные свойства магнитных наножи́дкостей на основе эфиров карбоновых кислот // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2019. № 11. С. 555–563. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.555
16. Малкин А.Я., Куличихин С.Г. Реология в процессах образования и превращения полимеров. М.: Химия. 1985. 240 с.
17. Савада Х. Термодинамика полимеризации. М.: Химия. 1979. 312 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БОЛОТОВ Александр Николаевич – ученый секретарь ученого совета ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: alnikbltov@rambler.ru

НОВИКОВА Ольга Олеговна – канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: onvk@mail.ru

НОВИКОВ Артем Владиславович – магистр кафедры конструкций и сооружений, инженерно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: artmnv75@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Болотов А.Н., Новикова О.О., Новиков А.В. Определение энергии активации синтеза магнитных смазочных наномасел на основе вискозиметрических исследований // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 2 (10). С. 85–95.

**DETERMINATION OF THE ENERGY OF ACTIVATION
OF THE SYNTHESIS OF MAGNETIC LUBRICANT NANO OILS
BASED ON VISCOSIMETRIC STUDIES**

A.N. Bolotov, O.O. Novikova, A.V. Novikov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Equipment for experimental studies of the rheological behavior of magnetic nanofluids has been developed. It is indicated that the design of a rotational magnetic viscometer makes it possible to measure the standard characteristics of colloidal systems and to establish the structural features of liquids under shear stresses in a wide range of magnetic fields. A new method has been implemented to improve the antifriction and antiwear properties of magnetic nano-oils. It is proposed to estimate the activation energy of the chemical reaction of stabilization of colloidal systems using polymers based on the results of viscometric studies. The initial data for the calculation are experimental rheological curves taken at intermediate stages of the synthesis of polymer shells on dispersed particles in the process of obtaining magnetic nanofluids. The rate of the polymerization reaction was estimated as a function of temperature. It is noted that the results obtained will make it possible to obtain magnetic oils with specified rheological and tribotechnical properties.

Keywords: colloidal systems, magnetic nanofluid, magnetic lubricating nano-oils, viscometric studies, activation energy.

REFERENCES

1. Fertman V. E. Magnetic liquids: A reference manual. Minsk: Vysshaya shkola. 1988. 184 p.
2. Pei L., Gong X., Xuan S. Recent progress on the simulation technology of magnetic fluid. *Chinese Science Bulletin*. 2019. Vol. 64. Iss. 15, pp. 1567–1582.

3. Bolotov A.N., Novikova O.O., Novikov V.V. Silicone magnetic nanofluids adapted for the conditions of boundary friction. *Physico-chemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials*. 2020. No. 12, pp. 546–556. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.546 (In Russian).
4. Qiu H.Z., Yan H., Zhang P., Liu Q., Tang L. Friction properties of carbonyl iron-based magnetorheological fluid. *Московские Известия. Трибология*. 2009. Vol. 29 (1), pp. 61–67.
5. Bayburtsky F.S. Magnetic liquids: methods of production and areas of application. *Electronic resource*. URL: <http://maimeticliquid.narod.ru/autoritv/008.htm> (date of access: 20.06.2021).
6. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. On the question of the dielectric criterion of the colloidal stability of magnetic liquids. *Bulletin of the Tver State Technical University*. 2017. No. 1 (31), pp. 93–98. (In Russian).
7. Polunin V.M., Ryapolov P.A., Storozhenko A.M., Shabanova I.A. Structural-acoustic analysis of a nanodispersed magnetic fluid. *Russian Physics Journal*. 2011. Vol. 54 (1), pp. 9–15.
8. Reino L.A.T., Lima T.M., Costa A.S., Bakuzis A.F., Santos C.M.B., Sartoratto P.P.C., Morais P.C. Investigation of colloidal stability and insulation characteristics of magnetic oils. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2012. Vol. 12 (12), pp. 9319–9324.
9. Bolotov A.N., Novikova O.O. Mobile magnetometer for rapid test of saturation magnetization of magnetic nanofluids. *Physico-chemical Aspects of Research of Clusters, Nanostructures and Nanomaterials*. 2020. No. 12, pp. 557–570. (In Russian).
10. Li W., Zhang Z., Li D. Rheological properties of silicon oil-based magnetic fluid with magnetic nanoparticles (MNPs)-multiwalled carbon nanotube (MWNT). *Smart Materials and Structures*. 2019. Vol. 28 (6), pp. 065023. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.557
11. Uhlmann E., Spur G., Bayat N., Patzwald R. Application of magnetic fluids in tribotechnical systems. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2002. No. 252, pp. 336–340.
12. Chen S.F., Zheng M.H., Wang Z.L., Wang Y.B. Research on anti-wear property of synthetic oil-based polymeric α -olefin nano Fe_3O_4 ferrofluids. *Bingong Xuebao/Acta Armamentarii*. 2009. Vol. 30 (4), pp. 457–460.
13. Bolotov A.N., Novikov V.V., Novikova O.O. Lubricating oils produced by modification of magnetic nanofluids. *Materials Science*. 2019. No. 11, pp. 29–35. DOI: 10.31044/1684-579X-2019-0-11-29-35 (In Russian).
14. Nepper D. Stabilizacia kolloidnykh dispersiy polimerami [Stabilization of colloidal dispersions by polymers]. Moscow: Mir. 1986. 487 p.
15. Bolotov A.N., Novikova O.O. Lubrication properties of magnetic nanoliquids based on carboxylic acids. *Physico-chemical Aspects of Studying Clusters, Nanostructures and Nanomaterials*. 2019. No. 11, pp. 555–563. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.555 (In Russian).
16. Malkin A.Ya., Kulichikhin S.G. Reologia v processah obrazovaniya i prevrasheniya polimerov [Rheology in the processes of polymer formation and transformation]. Moscow: Khimiya. 1985. 240 p.
17. Savada Kh. Termodinamika polimerizacii [Thermodynamics of polymerization]. Moscow: Khimiya. 1979. 312 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BOLOTOV Alexander Nikolaevich – Academic Secretary of the Academic Council of Tver State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Applied Physics of the Department of Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: alnikbltov@rambler.ru

NOVIKOVA Olga Olegovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of the Applied Physics, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: onvk@mail.ru

NOVIKOV Artem Vladislavovich – Master of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: artmnv75@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Bolotov A.N., Novikova O.O., Novikov A.V. Determination of the energy of activation of the synthesis of magnetic lubricant nanooils based on viscosimetric studies // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 2 (10), pp. 85–95.

УДК 541.6

**УФ-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
ЛАНДЫША МАЙСКОГО**

М.Г. Виноградова

Тверской государственной университет (г. Тверь)

© Виноградова М.Г., 2021

Аннотация. Обсуждена возможность установления химического состава ландыша майского с помощью ультрафиолетовой спектроскопии. Проведен анализ растительного сырья популяций ландыша майского в составе фитоценозов лесов Торжокского района Тверской области. Идентифицированы фенольные соединения, входящие в состав изучаемых растений. Определена структура исследуемых флавоноидов.

Ключевые слова: УФ-спектроскопия, ландыш майский, флавоноидные соединения.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-95-102

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает потребность здравоохранения, химико-фармацевтической промышленности в лекарственном растительном сырье для увеличения выпуска существующих препаратов, создания и внедрения новых [1–7].

Одними из самых эффективных средств, регулирующих работу сердца, являются сердечные гликозиды. Вещества этой группы есть в различных растениях, в том числе и в ландыше майском. Гликозиды ландыша нестойки и не накапливаются в организме.