

УДК 538.4

Разработка конструкции вискозиметра для исследования магнитных жидкостей

А.П.Сизов¹, О.Ю.Балашов¹, Е.В.Сергеев²

¹ФГБОУВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д. К. Беляева»

²ФГБОУВПО «Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России»

E-mail:ivgsha@ tpi.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В связи с развитием техники и устройств, работающих с использованием магнитных жидкостей, весьма актуальной стала проблема изучения реологических свойств магнитоуправляемых наножидкостных сред. Решить эту проблему можно путем создания новых и модернизации известных конструкций вискозиметров.

Материалы и методы: Расчеты магнитных характеристик предлагаемой конструкции магнитовискозиметра выполнены на основе метода конечных элементов.

Результаты: Приводится конструкция специально разработанного магнитовискозиметра, с помощью которого проведены исследования реологических свойств магнитоуправляемых нанодисперсных сред, называемых магнитными жидкостями. Исследовано влияние напряженности внешнего магнитного поля, магнитных свойств измерительной поверхности параметров магнитных жидкостей на реологические свойства магнитных жидкостей. Проведен анализ полученных данных.

Выводы: Разработанная конструкция магнитовискозиметра позволит исследовать реологические свойства магнитоуправляемых наножидкостных сред в присутствии магнитного поля.

Ключевые слова: реология, вискозиметр, магнитоуправляемые среды, магнитная жидкость, магнитное поле, ферромагнитные частицы.

Viscometer Design for Magnetic Liquids Research

A.P. Sizov¹, O.U. Balashov¹, E.V. Sergeev²

¹ Ivanovo State Agricultural Academy, Ivanovo, Russian Federation

² Ivanovo Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Ivanovo, Russian Federation

E-mail:ivgsha@ tpi.ru.

Abstract

Background: Due to the development of techniques and devices working with magnetic liquids, the problem to research the flow characteristics of magnetic structured nanoliquid media is very urgent. The creation of new constructions of the viscometers as well as modernisations of the known ones can help to solve the problem.

Materials and methods: Calculations of magnetic characteristics of the offered magnetic viscometer design are executed on the basis of the method of final elements.

Results: The author describes the specially developed design of magnetic viscometer which helps to research flow characteristics of magneticnanodispersed environments named magnetic liquids (ML). The author considers the influence of external magnetic field strength on flow characteristics, magnetic properties of measuring surface of magnetic liquids parametres. The analysis of the received data is carried out.

Conclusions: The developed design of magnetic viscometer will allow to investigate properties of magnetic liquids environments in the magnetic field.

Key words: rheology, viscometer, magnetic structured media, magnetic liquid, magnetic field, ferromagnetic particles.

Для исследования реологических свойств различных полидисперсных сред, в том числе и сельскохозяйственного назначения (отходы пищевых производств; отходы пивоваренной промышленности и др.), используют вискозиметры. При определении вязкости измеряют сопротивление движению тела в определенной среде. Выделяют следующие виды вискозиметрии: капиллярная, основанная на законе Пуазейля; ротационная; вибрационная; падающего шара (закон Стокса); пластометрия (исследование сдвигового течения жидкости, ее растекания при сдавливании двух параллельных пластинок) и пенетрация (определение вязкости вдавленного

в среду тела по скорости его движения и величине приложенного усилия).

Капиллярная вискозиметрия основана на законе Пуазейля: при течении вязкой жидкости через тонкую цилиндрическую трубку ее объем, протекающий через поперечное сечение трубки в 1 с, пропорционален разности давлений на единицу длины трубки и 4-й степени ее диаметра и обратно пропорционален коэффициенту вязкости. Закон Пуазейля справедлив только для ламинарного течения.

Магнитные жидкости (МЖ), представляющие собой коллоидный раствор ферромагнитного материала, частицы которого имеют супер малый

размер (несколько нанометров), в жидкостно-носителе (углеводы, синтетические масла, вода), нашли применение в уплотнительной технике для герметизации валов, неподвижных соединений (крышки, фланцы) и в условиях разделения сред по удельным весам.

Во всех случаях такого применения разработчиков интересует, как МЖ изменяет свои реологические свойства при воздействии внешних магнитных полей, так как указанные параметры определяют работу электромагнитных устройств, в которых МЖ используется как основной рабочий элемент.

Наличие в составе МЖ магнитных частиц, способных выстраиваться по направлению силовых линий магнитного поля, создавать структуры, определяет ее реологические свойства и параметры [1].

Структура, состоящая из феррочастиц, образующаяся в МЖ за счет сил диполь-дипольного взаимодействия между феррочастицами, взаимодействует с внешними конструктивными элементами электромагнитных устройств. Это взаимодействие в основном определяется для феррочастиц магнитными свойствами материала конструктивного элемента (вала, крышки, фланца и др.). В случае немагнитного материала это взаимодействие сводится к адгезионным силам на поверхности, т.е. действие магнитного поля сводится в основном к образованию структуры из феррочастиц. Следовательно, при выборе материала для вискозиметра необходимо учитывать магнитные свойства используемого материала. Так, например, в вискозиметре РВ-8 увеличение «сцепления» с исследуемой средой достигается за счет использования насечек на измерительном валу.

Вискозиметр РВ-8 использовался для исследования реологических свойств МЖ в отсутствие воздействия магнитного поля. При наложении внешнего магнитного поля перпендикулярно плоскости сдвига образуется структура из феррочастиц, которая вносит значительные изменения в реологию МЖ.

Вискозиметр РВ-8 был модернизирован (рис. 1) установкой на внешний цилиндр 1 П-образной электромагнитной системы, состоящей из кольцевой катушки 2 и полюсных приставок 3 и 4. Магнитопровод 5 служил для замыкания магнитного потока Φ , который создавала катушка 2 при пропускании по ней постоянного тока I . Внешний цилиндр 1 выполнен из бронзы толщиной 2 мм, т.е. является немагнитным материалом.

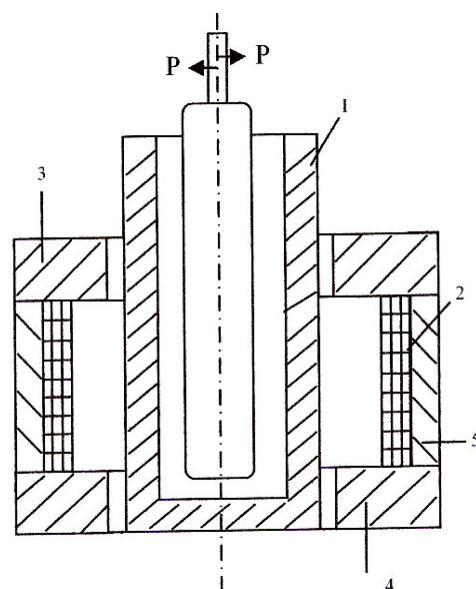


Рис. 1. Схема модернизированного вискозиметра РВ-8

Магнитная система в данном случае повторяла магнитную систему уплотнения вращающихся валов магнитно-жидкостного уплотнения (МЖУ).

На рис. 2 показаны реологические зависимости исследуемых МЖ, приготовленных карбоильным методом на основе частиц железа [2] и кремнийорганической жидкости ПЭС-5, которая выбиралась с большим количеством этоксильных групп.

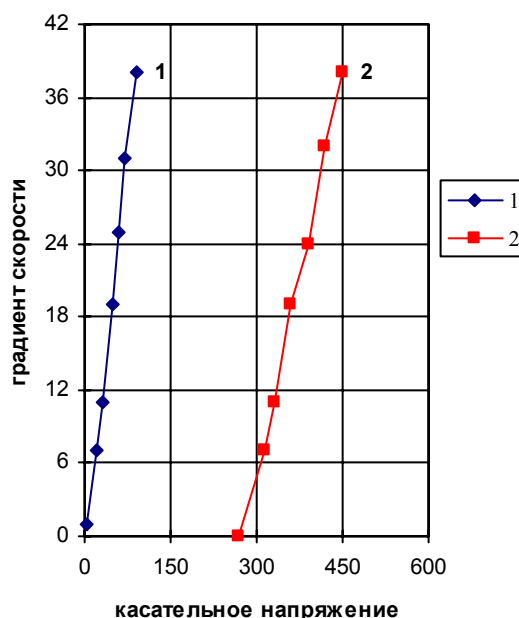


Рис. 2. Реологические характеристики магнитных жидкостей при $B = 0,36 T_a$ на основе: 1 – магнетита; 2 – карбоильного железа

В этом случае жидкость-носитель одновременно выполняла функции поверхностно-активного вещества (ПАВ). МЖ, полученная указанным методом, как показали результаты выходных испытаний, проведенных на Редкинском опытном заводе по внутренним техническим уплотнениям (ВТУ), имела средний диаметр феррочастиц, определенный на электронном микроскопе \approx нм. В качестве жидкости-носителя использовалась кремнийорганическая жидкость ПЭС-5. Намагниченность насыщения I_c МЖ составляла $I_c = 40$ кА/м, плотность при 20°C – $\eta_{пл} = 0,75$ Па·С, по данным измерений на приборе Реотест-2. Номер поставляемой партии, по данным производителя, МЖ-40-11. МЖ рекомендуется для использования в МЖУ.

В результате исследований установлено, что МЖ обладает свойствами тела Бингама-Шведова.

В целях совершенствования исследования реологических свойств МЖ разработан ротационный вискозиметр, схема которого представлена на рис. 3.

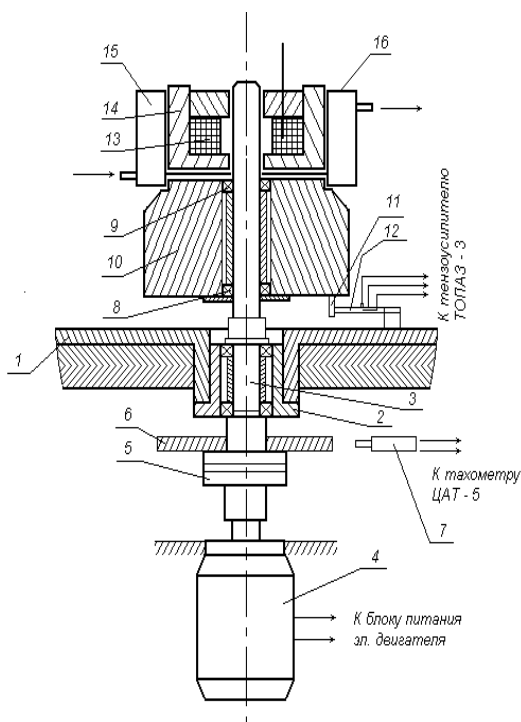


Рис. 3. Схема ротационного магнитовискозиметра (вариант «а»)

В таком вискозиметре поверхности, контактирующие с исследуемой МЖ, изготовлены магнитными, из стали Ст-3.

Магнитовискозиметр состоит из следующих основных частей: корпус 1, в котором установлены подшипниковый узел 2 и вал 3, приводимый во вращение с помощью двигателя постоянного тока 4, подключаемого к блоку питания, который обеспечивает стабильную частоту вращения вала вискозиметра, которая регистрируется с помощью тахометра ЦАТ-5. С использованием подшипников качения 8,9 на вал вискозиметра уста-

новлен корпус 10, выполненный из немагнитного материала.

Измерительная часть магнитовискозиметра выполнена конструктивно в нескольких вариантах. В варианте «а» (рис. 3) измерительная часть повторяет МЖУ. В этом случае на корпус 10 устанавливается индуктор 11, создающий магнитное поле. В состав индуктора входят катушка намагничивания 17 и магнитопровод 13. К корпусу вискозиметра прикреплен рычаг 11, воздействующий на тензодатчик 15, сигнал с которого подается на тензоусилитель (Топаз-3).

Магнитная система измерительной части выполнена из магнитомягкого материала. В зазоре между полюсными наконечниками установлены пустотелый цилиндрический блок 3 и ротор 4.

Пустотелый цилиндрический блок 3 образует с полюсными наконечниками 1 и 2 термостатирующую камеру 5, через которую прокачивается термостатирующая жидкость. Прокладка 6, выполненная из немагнитного материала, служит для герметизации камеры 5.

Измерение момента, передаваемого через слой МЖ к цилиндрическому блоку, производится за счет установки измерительной части на корпус вискозиметра 10 (рис. 4).

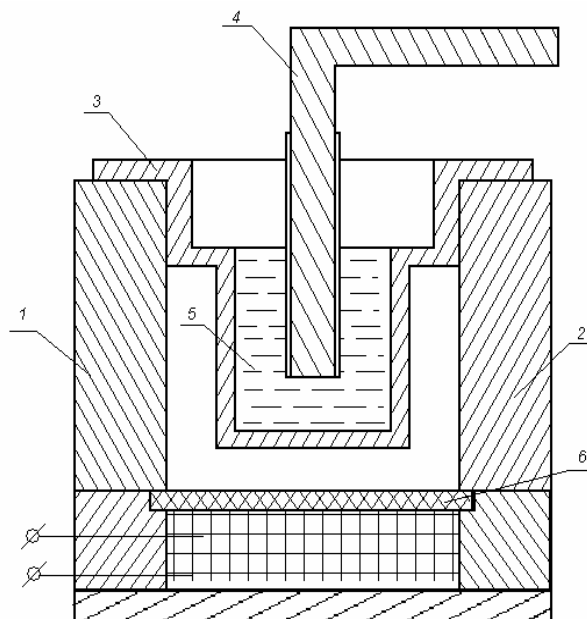


Рис. 4. Измерительная часть по варианту «б»

При этом на корпус устанавливается рычаг, воздействующий на тензодатчик вискозиметра. Магнитное поле Φ создается индуктором и пронизывает зазор между ротором и цилиндрическим блоком.

Магнитное поле, пронизывающее полюсные наконечники 1 и 2, направлено перпендикулярно сдвиговому току и может быть создано необходимой конфигурацией за счет изменения формы полюсных наконечников, которые обращены в сторону кольцевой выточки, заполненной исследуемой МЖ.

Для получения данных о реологических свойствах МЖ она помещается в кольцевую выточку, в камеру подается термостатирующая жидкость из термостата, с помощью которого устанавливается необходимый тепловой режим. С помощью индуктора устанавливаются требуемая величина магнитного поля в рабочем зазоре и частота вращения электрического двигателя. Измерение момента, передаваемого вращающимся ротором через слой МЖ к кольцевой выточке и, соответственно, подвижному корпусу, производится при помощи тензодатчика.

По данным измерения крутящего момента $M_{тр}$ определяют величину касательного напряжения τ_p , а по величине частоты вращения электропривода и, соответственно, ротора – градиент скорости γ в зазоре, заполненном МЖ. На основании экспериментальных данных и расчетов строят реологическую характеристику МЖ как зависимость γ от τ_p для данного установленного значения напряженности магнитного поля.

С использованием описанного вискозиметра проведены исследования реологических свойств МЖ 40-11 и МЖ, приготовленной на основе частиц магнетита со средним диаметром $d_{ср} = 6$ н.м. и кремнийорганической жидкости ПЭС-5 (полиэтилсилоксановая) с вязкостью $\eta = 270$ сст при 20 °С, намагниченностью насыщения $I_s = 15$ кА/м. В качестве ПАВ в такой МЖ использовалась олеиновая кислота. Сравнительный анализ полученных реологических зависимостей показал, что при введении в состав МЖ частиц магнетита, имеющих приблизительно в 5 раз меньшее значение намагниченности I_s материала, получено значительное изменение параметров реологической зависимости. Вязкость магнетитовой МЖ имеет значительно меньшую величину, по сравнению с МЖ, приготовленной на основе феррочастиц железа. Однако сравнительный анализ различных МЖ, приготовленных по стандартным технологиям, осуществить сложно. Поэтому целесообразно использовать параметр, который характеризует приращение вязкости МЖ при воздействии на нее магнитного поля одинаковой напряженности, или

определять предел текучести МЖ при отсутствии магнитного поля $\tau_{0(n=0)}$ и при его воздействии $\tau_{0(n)}$ и на основе этого определять безразмерный параметр $K = \eta_{0(n)} / \eta_{0(n=0)}$.

Результаты исследований реологических свойств МЖ показали, что величина τ_0 имеет значительный разброс при параллельных измерениях. Этот разброс в величинах $\Delta\tau_0$ зависит от промежутка времени между параллельными измерениями, и для магнетитовых жидкостей, обладающих большей устойчивостью к воздействию магнитного поля $\Delta\tau_0$, имеет меньшую величину.

Список литературы

1. **Магнитные жидкости в машиностроении** / Д. Орлов, А.П. Сизов и др. – М.: Машиностроение, 1993.
2. **Сизов А.П.** Повышение надежности машин и механизмов применением магнитоожидкостных устройств: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1994.
3. **Берковский В.М., Медведев В.Ф.** Магнитные жидкости. – М.: Химия, 1989.
4. **Гинзбург Л.Б., Федотов А.И.** Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов. – Л.: Машиностроение, 1980.
5. **Розенцвейг Р.Е.** Феррогидродинамика: пер. с англ. / под ред. В.В. Гогосова. – М.: Мир, 1989.
6. **Гиркунов В.М.** Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985.

References

1. Orlov, D., Sizov, A.P. *Magnitnye zhidkosti v mashinostroyenii* [Magnetic liquids in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroyenie, 1993.
2. Sizov, A.P. *Povyshenie nadezhnosti mashin i mekhanizmov primeneniem magnitozhidkostnykh ustroystv*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Increasing the Efficiency of Machines and Mechanisms with Application of Magneto-Liquid Devices. Dissertation Abstract of the Thesis of Doctor of Engineering]. Moscow, 1994.
3. Berkovskiy, V.M., Medvedev, V.F. *Magnitnye zhidkosti* [Magnetic Liquids]. Moscow, Khimiya, 1989.
4. Ginzburg, L.B., Fedotov, A.I. *Proektirovanie elektromagnitnykh i magnitnykh mekhanizmov* [Designing Electromagnetic and Magnetic Mechanisms]. Leningrad, Mashinostroyenie, 1980.
5. Rozentsveyg, R.E. *Ferrogidrodinamika* [Ferrohydrodynamics]. Moscow, Mir, 1989.
6. Girkunov, V.M. *Tribotekhnika* [Tribological Engineering]. M.: Mashinostroyenie, 1985.

Сизов Александр Павлович,
ФГБОУВПО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.К. Беляева»,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой МЭСП и БЖД,
телефон (4932) 54-87-95.

Балашов Олег Юрьевич,
ФГБОУВПО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.К. Беляева»,
кандидат технических наук, доцент кафедры МЭСП и БЖД
e-mail: ivgsha@tpi.ru.

Сергеев Евгений Владимирович,
ФГБОУВПО «Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России»,
старший преподаватель кафедры производственной и пожарной автоматики,
e-mail: ivgsha@tpi.ru.