

ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ МАГНЕТИТОВЫХ ЧАСТИЦ

Н. В. Колчанов, В. Д. Сайдаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

На основе капиллярного вискозиметра изготовлена установка для измерения вязкости магнитной жидкости. Была измерена вязкость магнитной жидкости на основе керосина при различных температурах и объёмных концентрациях магнетитовых частиц. Сопоставлены результаты экспериментальных данных зависимости вязкости от концентрации с существующими теоретическими формулами. Из теоретических формул были сделаны оценки среднего диаметра магнетитовых частиц. Температурная зависимость вязкости проявляется ощутимо при высоких концентрациях.

Ключевые слова: магнитная жидкость; вязкость; измерение вязкости

MEASUREMENT OF THE MAGNETIC LIQUID VISCOSITY VARIOUS CONCENTRATIONS OF MAGNETITE PARTICLES

N. V. Kolchanov, V. D. Saidakov

Perm State University, Bukireva St. 15, 614990, Perm

On the basis of a capillary viscometer, an apparatus for measuring the viscosity of a magnetic fluid is made. The viscosity of a magnetic fluid based on kerosene at various temperatures and volumetric concentrations of magnetite particles was measured. The results of experimental data on the dependence of viscosity on concentration with existing theoretical formulas are compared. Theoretical formulas were used to estimate the average diameter of magnetite particles. The temperature dependence of the viscosity is noticeable at high concentrations.

Keywords: magnetic fluid; viscosity; viscosity measurement

В целях проведения различных конвективных экспериментов с магнитной жидкостью в будущем, важно знать поведение вязкости магнитной жидкости от температуры. Поскольку приложение магнитных жидкостей почти всегда связано с её течением, то вязкость магнитных жидкостей играет важную роль и в технических задачах.

Основная проблема при проведении измерений капиллярным вискозиметром – это измерение времени прохождения уровня жидкости между метками из-за её непрозрачности. Поэтому был изготовлен специальный датчик уровня, который чувствителен к изменению теплопроводности окружающей среды. Он состоит из дифференциальной термопары, один из спаев которой окружён тонкой медной проволокой (рис. 1), через которую пропускается постоянный ток $\sim 0,2$ А при напряжении $\sim 0,2$ В. Таким образом, вокруг спая создаётся источник тепла постоянной мощности. При размещении такого спая в различных средах ЭДС термопары будет различаться даже при

одинаковой температуре сред. Было изготовлено два таких датчика, которые подключались встречным образом.



Рис. 1. Внешний вид датчика теплопроводности

Сигнал от двух таких датчиков поступает на микровольтметр «Термо-дат – 38В1» в виде разности ЭДС между первой и второй дифференциальной термопарой. На рис. 2 показан принцип работы датчиков и схема их подключения. Спаи с обмоткой размещаются внутри трубки вискозиметра напротив меток, свободные спаи термопары находятся в верхней части трубки для термостатирования. Изготовленная установка была протестирована на трансформаторном масле. Отклонения измеренных значений вязкости от табличных значений не превышает 5%.

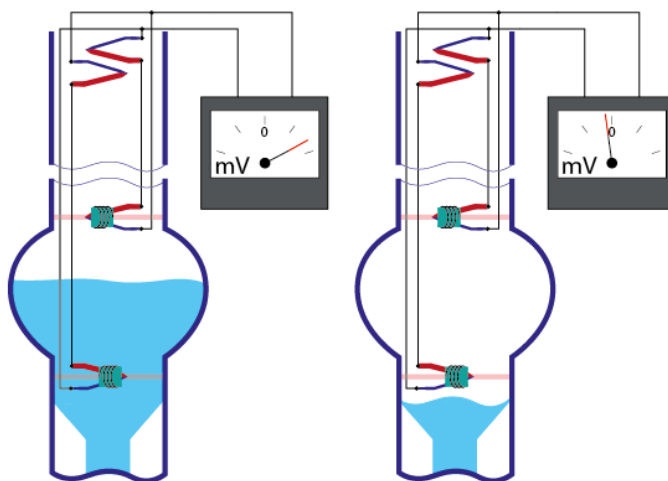


Рис. 2. Принцип работы датчиков

Серии экспериментов проводились при 16,3 %, 13,1 %, 9,5 %, 5,8 % объёмной концентрации магнетита. Для каждой концентрации проводились измерения вязкости при 10, 20, 30, 40, 50 °С. Вычисление объёмной концентрации находилось через плотности составных компонентов по формуле (1):

$$K_{vol} = \frac{\rho_{mf} \rho_k}{\rho_m \rho_k}, \quad (1)$$

где ρ_{mf} – плотность магнитной жидкости, ρ_k – плотность керосина, ρ_m – плотность магнетита.

С помощью пикнометра измерялась плотность магнитной жидкости для нескольких различных температур. Полученную линейную зависимость использовали для нахождения плотности при любой нужной температуре.

Вязкость вычисляется по формуле (2):

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}, \quad (2)$$

где η_0, ρ_0, t_0 – коэффициент вязкости, плотность, время истечения эталонной жидкости, η, ρ – коэффициент вязкости, плотность. Время истечения исследуемой жидкости t определяется с помощью программного пакета Thermo Reader.

По экспериментальным данным была построена зависимость динамической вязкости магнитной жидкости от температуры (рис. 3).

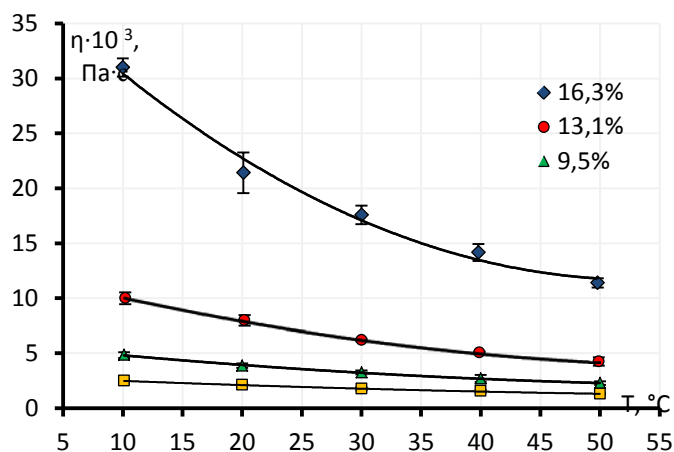


Рис. 3. Графики зависимости вязкости магнитной жидкости от температуры при различных концентрациях

Согласно теориям [1], отношение вязкости магнитной жидкости к жидкости-носителю не должно меняться с температурой. Как это видно из рис. 4, соответствуют теории графики с наименьшей концентрацией.

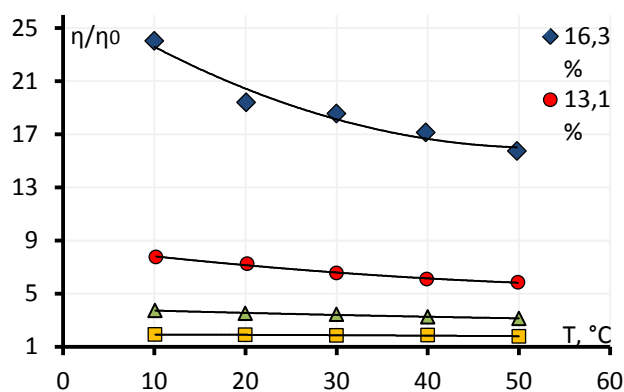


Рис. 4. Графики зависимости относительной вязкости магнитной жидкости от температуры при различных концентрациях

С уменьшением температуры от 50° С до 10° С относительная вязкость с 16,3 % концентрацией увеличивается на 35 %, тогда как с 5,8 % концентрацией увеличение только на 7 %.

На рис. 5 построены экспериментальные зависимости относительной вязкости от концентрации при 20° С и 50° С. Вместе с ними на рисунке линиями изображены результаты расчётов по формуле Вэнда [2]:

$$\ln \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{2,5p\varphi + 2,7(p\varphi)^2}{1 - 0,609p\varphi},$$

по формуле Чонга [1]:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \left(1 + 2,25 \frac{p\varphi}{1 - \frac{p\varphi}{\varphi_c}} \right)^2,$$

где φ_c – объёмная концентрация коллоида при плотной концентрации частиц. Параметр $p = \left(1 + \frac{2\delta}{d} \right)^3$ вводится для учета слоя ПАВ на поверхности частицы. При расчётах брался средний диаметр магнетитовой частицы $d = 10$ нм при $\delta = 2$ нм – толщина слоя ПАВ, $\varphi_c = 0,605$. График по формуле Чонга лучше остальных соответствует экспериментальным точкам.

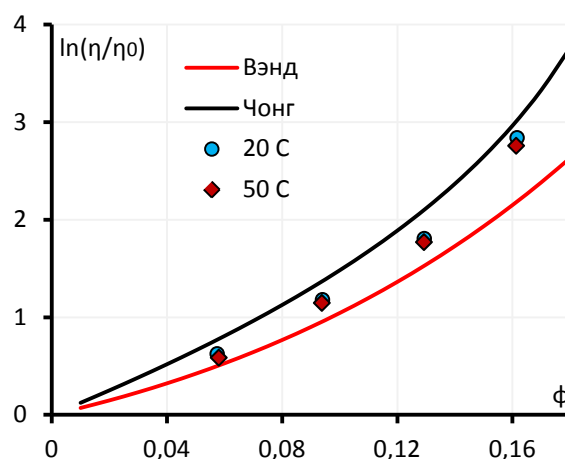


Рис. 5. Графики зависимости относительной вязкости магнитной жидкости от температуры при различных концентрациях

Если аппроксимировать экспериментальные данные формулой Вэнда и Чонга, при постоянной $\delta = 2$ нм, получим средний диаметр магнетитовых частиц, равный 9,0 нм и 11,8 нм соответственно. Наилучшая достоверность аппроксимации получается формулой Вэнда.

Список литературы

1. Лебедев А. В. Вязкость концентрированных коллоидных растворов магнетита // Коллоидный журнал. 2009. Т. 71. № 1. С. 78 – 83.
2. Фертман В. Е. Магнитные жидкости. Справ. Пособие. Мн.: Высшая школа, 1988. 123 с.