

УДК 538.951

DOI: 10.17223/00213411/62/4/29

*В.М. ПОЛУНИН, П.А. РЯПОЛОВ, А.И. ЖАКИН, Е.В. ШЕЛЬДЕШОВА, Г.В. КАРПОВА***«ПРИСТЕНОЧНАЯ ВЯЗКОСТЬ» ПРИ КОЛЕБАНИЯХ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ
В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ***

Дана оценка «пристеночной вязкости» и ее приращения («магнитовязкий» эффект) в тонком пристеночном слое столбика магнитной жидкости, совершающей колебания в трубке, при наложении сильного поперечного магнитного поля. Расчет выполнен по формуле, полученной на основе двух различных теоретических подходов и примененной к опубликованным ранее экспериментальным результатам комплексного измерения частоты колебаний и намагниченности насыщения магнитной жидкости, прокомментированным в предположении отсутствия полевой зависимости вязкости. По оценкам «пристеночной вязкости» «сверху» и «снизу» рассчитывается их вклад в коэффициент затухания колебаний.

Ключевые слова: магнитная жидкость, вязкость, «магнитовязкий» эффект, частота колебаний, коэффициент затухания колебаний, коэффициент пондеромоторной упругости, намагниченность насыщения.

Введение

К наиболее известным применениям нанодисперсных магнитных жидкостей (МЖ), ставшим уже «традиционными», относятся магнитожидкостные уплотнения, сепараторы немагнитных материалов, датчики угла наклона и ускорения, наполнители зазоров магнитных головок громкоговорителей [1–5].

В последнее десятилетие все в большей мере привлекают внимание исследователей вопросы использования МЖ для решения специфических задач управляемого магнитным полем демпфирования вибраций [6–8], дозированной подачи малых порций газа в реактор за счет модуляции магнитного поля колеблющимися в МЖ пузырьками воздуха [9, 10].

В работах [11–13] проведены измерения и теоретический анализ колебаний столбика магнитной жидкости, удерживаемой магнитной левитацией в трубке в сильном магнитном поле. Причем в [12, 13] расчеты, проведенные с использованием модели пондеромоторной упругости с введенной поправкой на сопротивление движущейся вязкой жидкости, сравниваются с экспериментальной кривой намагничивания. Однако в теоретической модели в качестве одного из приближений предполагается неизменность вязкости МЖ. Следовательно, открытым остается вопрос о «магнитовязком» эффекте – приращении вязкости в тонком пристеночном слое МЖ при наложении магнитного поля.

В сдвиговом потоке на твердую частицу действует момент сил, приводящий к её вращению. Магнитное поле ориентирует магнитный момент частицы и при наличии связи между моментом частицы и частицей затрудняет её свободное вращение. Это приводит к локальным градиентам скорости жидкости-основы вблизи частиц и вызывает увеличение эффективной вязкости МЖ [14–18]. Насыщение так называемой «вращательной» вязкости наступает, когда сильное поле жестко ориентирует частицы. Для разбавленной МЖ с моночастичной дисперсной фазой при течении в круглом капилляре в насыщающем магнитном поле, перпендикулярном оси капилляра, приращение вязкости, как показано в [16, 17], может составлять

$$\Delta\eta = \frac{3}{4}\varphi\eta,$$

где φ – гидродинамическая концентрация МЖ. Это соотношение получено в предположении модели «жесткого диполя», для которой механизм намагничивания осуществляется за счет броуновского вращательного движения. В распределении частиц в реальной МЖ всегда имеется доля относительно мелких магнитных наночастиц ($\leq 5\text{--}7$ нм), для которых справедлив неелевский (внутричастичный) механизм перемагничивания. Присутствие таких частиц приводит к уменьшению

* Работа выполнена в рамках проектной части госзадания Министерства образования и науки РФ. Код проекта 3.2751.2017/ПЧ.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>