



ФОРМИРОВАНИЕ СТАЛАГМИТОПОДОБНЫХ СТРУКТУР В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ОРТОГОНАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Д.А. Усанов, Ал.В. Скрипаль, Ан.В. Скрипаль

Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости формы поверхности магнитной жидкости от скорости нарастания магнитного поля, приложенного перпендикулярно к ее поверхности. Сделан вывод о взаимосвязи числа сталагмитоподобных структур, количества пучностей собственных колебаний магнитной жидкости и характерных времен нарастания внешнего магнитного поля.

Как известно, в ортогональном магнитном поле поверхность магнитной жидкости может приобретать вид структуры из острых пиков [1,2]. Считается, что картина поверхности определяется величиной напряженности магнитного поля [3,4]. Нами исследовался характер поверхности магнитной жидкости в зависимости от скорости нарастания магнитного поля, приложенного перпендикулярно к ее поверхности.

Экспериментальные исследования проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1. Медная кювета цилиндрической формы 1, заполненная магнитной жидкостью 2 на основе керосина с магнетитовыми частицами, стабилизированными олеиновой кислотой ($M_d=4800$ Гс – намагниченность насыщения твердого магнетика, $\phi=0.25$ – объемная доля твердой фазы магнитной

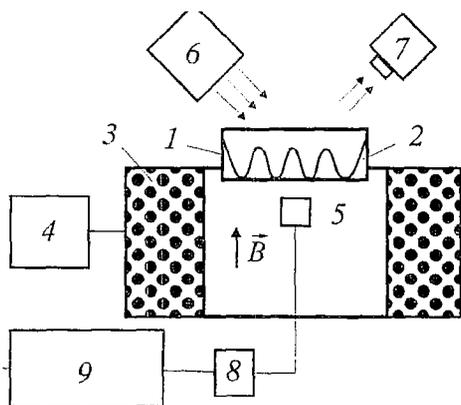


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

жидкости, $\epsilon=3$ – диэлектрическая проницаемость), помещалась в ортогональное магнитное поле, образуемое катушками электромагнита 3, подключенного к источнику постоянного напряжения 4. Скорость нарастания магнитного поля измерялась с использованием датчика Холла 5. Поверхность магнитной жидкости освещалась волоконно-оптическим осветителем 6 и регистрировалась фотоаппаратом 7. Сигналы, характеризующие нарастание э.д.с. магнитного поля в цепи датчика Холла, подавались на аналого-цифровой преобразователь 8 компьютера 9. При приложении к магнитной жидкости магнитного поля выше некоторого критического значения

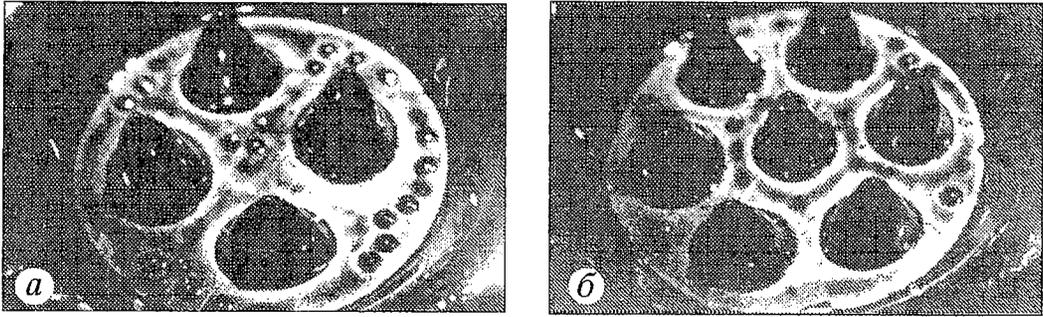


Рис. 2. Изображение структуры поверхности магнитной жидкости для различных значений времен нарастания магнитного поля: *а* – 170 мс, *б* – 100 мс

на поверхности магнитной жидкости формировались сталагмитоподобные структуры, причем с ростом магнитного поля наблюдался процесс полного перехода магнитной жидкости в эти структуры.

В результате проведенных исследований была установлена взаимосвязь числа образующихся структур со скоростью нарастания магнитного поля. На рис. 2 приведены изображения структуры поверхности магнитной жидкости полученные при различных скоростях нарастания магнитного поля. Как видно из этих изображений, наблюдается образование различного количества (на рис. 2, *а* – четырех, а на рис. 2, *б* – семи) сталагмитоподобных структур для различных скоростей нарастания магнитного поля. На рис. 3 приведены сигналы, характеризующие нарастание магнитного поля, регистрируемые датчиком Холла, при которых были получены сталагмитоподобные структуры, приведенные на рис. 2. Как следует из рис. 3, времена нарастания магнитного поля составляли 170 и 100 мс, соответственно для картин поверхностей магнитной жидкости, приведенных на рис. 2, *а*, *б*. При дальнейшем уменьшении времени нарастания магнитного поля наблюдалось увеличение числа образующихся структур. Максимальное наблюдавшееся нами при описанных условиях эксперимента число структур составляло 14.

Для объяснения наблюдаемой картины формирования сталагмитоподобных структур нами было сделано предположение о взаимосвязи количества зародышей таких структур со временем нарастания магнитного поля. В зависимости от времени нарастания внешнего воздействия в жидкости, помещенной в кювету, могут возникать поперечные собственные колебания, характеризующиеся определенной картиной узлов и пучностей на поверхности магнитной жидкости. Для оценки собственных частот колебаний жидкости в полости прямоугольного сечения используем выражение, приведенное в работе [5]:

$$\chi_n = [(n\pi g/l)\text{th}(n\pi h/l)]^{1/2},$$

где h – высота столба магнитной жидкости, l – линейный размер кюветы, $n=1, 2, 3, \dots$, g – ускорение свободного падения. Для используемой в наших экспериментах магнитной жидкости с параметрами $l=3$ см и $h=0.5$ см значения собственных частот с $n=2$ и $n=3$ составили приблизительно 6.4 и 8.5 Гц, период колебаний которых равен 157 и 118 мс, что соответствует значениям приведенных выше времен нарастания магнитного поля. Собственные частоты с $n=2$ и $n=3$ характеризуются наличием соответственно двух и трех пучностей колебаний. На приведенных на рис. 2 фотографиях магнитной жидкости

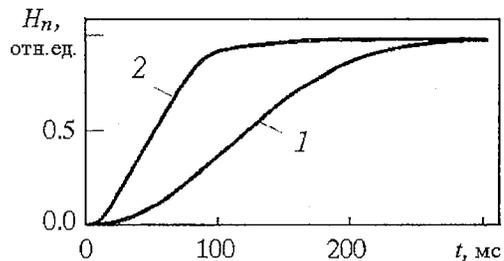


Рис. 3. Зависимость напряженности нормированного магнитного поля H_n при его включении от времени t для различных структур поверхностей, приведенных на рис. 2, *а* (1) и рис. 2, *б* (2)

также наблюдается возникновение характерных для времен нарастания магнитного поля 157 и 118 мс соответственно двух и трех сталагмитоподобных структур вдоль оси координат, проходящей через центр кюветы.

Таким образом, можно считать установленным, что в зависимости от времени нарастания магнитного поля в магнитной жидкости возбуждаются различные типы собственных колебаний, которые формируют на поверхности магнитной жидкости характерную для соответствующего типа картину. То есть, можно предположить, что воздействие на магнитную жидкость внешнего магнитного поля с временами нарастания, близкими к периодам собственных колебаний жидкости, вызывает возбуждение соответствующей собственной частоты и появление характерной для нее картины поверхности.

Библиографический список

1. Berkovsky V.M., Bashtovoi V. // IEEE Trans. Magnetics. 1980. Vol. MAG-16. P. 288.
2. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О. Магнитные жидкости. Рига: Зинанте, 1989. 386 с.
3. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. М.: Мир, 1989. 356 с.
4. Bacri J.-C., Salin D. // J.Physique-Letters. 1983. Vol. 44. P. L-415.
5. Мусеев Н.Н., Петров А.А. Численные методы расчета собственных частот колебаний ограниченного объема жидкости. М.: ВЦ АН СССР, 1966. 269 с.

Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию 10.09.98
после переработки 11.11.98

FORMATION OF STALAGMITE STRUCTURES IN MAGNETIC FLUID DURING SWITCHING ON ORTHOGONAL MAGNETIC FIELD

D.A. Usanov, A.I. Skripal, A.V. Skripal

The results of experimental researches of dependence of the surface form of magnetic fluid on the velocity of increase of magnetic field affixed perpendicularly on its surface are reduced. The conclusion about correlation of stalagmite structures number, amount loops of normal mode of magnetic fluid and characteristic times of exterior magnetic field increase is made.



Скрипаль Анатолий Владимирович – родился в 1960 году в Саратове. Окончил физический факультет Саратовского госуниверситета (1982). С 1998 года доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Саратовского госуниверситета. Автор 90 научных трудов в области когерентной оптики, вибродиагностики, квантовой электроники, физики ферромагнитных структур.