

Рисунок 2 – Относительное радиальное распределение степени черноты слоя при различных временах выдержки в магнитном поле.

При помещении тонкого слоя магнитной жидкости в неоднородное магнитное поле в результате процессов магнитофореза и диффузии происходит перераспределение частиц в радиальном направлении к центру слоя.

В соответствии с этим наблюдается изменение степени черноты слоя в радиальном направлении. В экспериментах с используемым образцом магнитной жидкости установлено, что степень черноты в центре слоя достигает максимума в течение семи часов.

УДК 538.4

#### Исследование формы пузыря в тонком слое магнитной жидкости в магнитном поле кольцевого магнита

Баштовой В.Г.<sup>1</sup>, Рекс А.Г.<sup>1</sup>, Ряполов П.А.<sup>2</sup>, Загадская А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Юго-западный государственный университет, г.Курск, Россия

*Аннотация:*

Представлены результаты экспериментального исследования формы пузыря в плоском горизонтальном слое магнитной жидкости в магнитном поле кольцевого магнита. Установлены условия существования пузыря и

получены зависимости его размеров для различных положений слоя магнитной жидкости относительно магнита.

*Текст доклада:*

Особенностью магнитного поля кольцевого магнита является наличие области, в которой модуль напряженности магнитного поля равен нулю. В этой области существует точка, от которой напряженность магнитного поля увеличивается по всем направлениям в пределах некоторой ограниченной области. С точки зрения статики магнитных жидкостей, такая область объема магнитной жидкости является областью устойчивого плавания в ней немагнитных тел, например, газовых пузырей. В окрестности точки нулевой напряженности магнитного поля внутри жидкости имеется достаточно большая замкнутая область с пониженным давлением, в которой давление в каждой точке меньше, чем давление над поверхностью жидкости, которое практически можно считать атмосферным. Если на поверхности жидкости создать такие условия, при которых давление в воздухе над ней локально превышает давление в жидкости под поверхностью, то наружный воздух будет прорываться в жидкость в виде пузырька, который затем будет перемещаться в область с минимальным давлением. Захват такого пузырька кольцевым магнитом в вертикальной трубке с магнитной жидкостью был установлен в работе [1].

Возможность образования газовых полостей в объеме магнитной жидкости имеет практический интерес, поскольку появляется механизм дополнительной диссипации энергии в магнитожидкостных гасителях колебаний [2].

Для исследования газовых полостей в магнитной жидкости в поле кольцевого магнита выбран горизонтальный тонкий плоский слой магнитной жидкости, ограниченный горизонтальными плоскопараллельными пластинами. Если этот слой магнитной жидкости сообщается с окружающей средой через отверстие в верхней пластине, то при внесении его параллельно плоскости кольцевого магнита в эту область магнитного поля наружный воздух проникнет в жидкость и заполнит область пониженного давления, сделав ее прозрачной и доступной для фотографирования. С учетом осесимметричности магнитного поля прозрачная область, занимаемая пузырем, будет иметь форму круга.

В зависимости от расстояния до магнита диаметр пузыря будет разным, поскольку диаметр области пониженного давления зависит от этого расстояния.

Геометрия данной задачи и схема плоского слоя магнитной жидкости показана на рисунке 1. Над горизонтально расположенным кольцевым магнитом расположен горизонтальный плоский слой магнитной жидкости ограниченного объема в щели между двумя прозрачными пластинами. В

центре верхней пластины имеется отверстие диаметром 1 мм для сообщения слоя магнитной жидкости с атмосферой. Плоский слой магнитной жидкости вместе с ограничивающими пластинами может перемещаться в вертикальном направлении  $z$  относительно центра магнита.

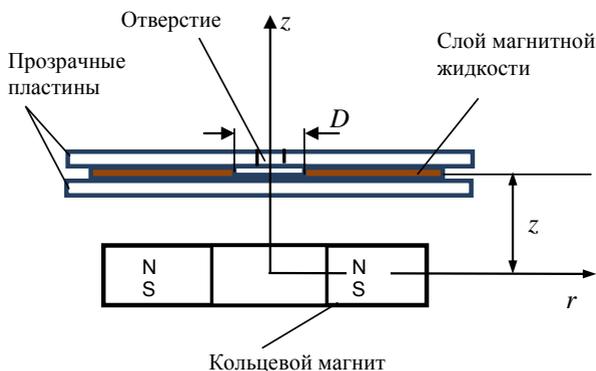


Рисунок 1 – Геометрия задачи

Щелевой канал выполнен из пластин из оргстекла. Высота щели и, соответственно, толщина слоя магнитной жидкости – 1 мм.

В экспериментах использовались магнитные жидкости на основе керосина МК-28 и МК-44, их свойства представлены в таблице.

В качестве источника магнитного поля использовался кольцевой феррит-бариевый магнит с наружным и внутренним диаметрами соответственно 56 и 24 мм. Высота магнита – 12 мм.

Таблица. Физические свойства образцов магнитной жидкости

Тип жидкости	Намагниченность насыщения $M_s$ , кА/м	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma$ , Н/м
МК-28	23,7	1151	0,029
МК-44	34,2	1332	0,028

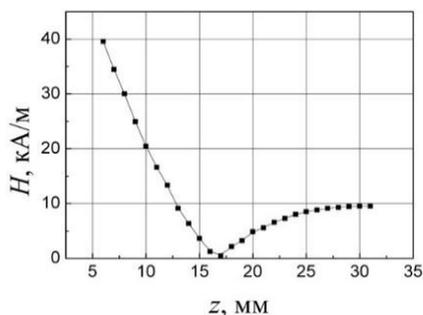


Рисунок 2. Распределение магнитного поля кольцевого магнита

Результаты исследования вертикального распределения напряженности магнитного поля над поверхностью кольцевого магнита вдоль оси его симметрии показаны на рисунке 2. При измерениях напряженности поля измерялись три компоненты поля, а затем по ним – модуль напряженности поля. Начало отсчета координаты  $z$  – центр магнита.

Рисунок свидетельствует, что при удалении вверх относительно торцевой поверхности горизонтально расположенного магнита напряженность магнитного поля сначала монотонно снижается, достигает в некоторой точке нулевого значения, а затем при дальнейшем перемещении вверх начинает монотонно расти.

Выполненные эксперименты показали, что в горизонтально расположенном тонком слое магнитной жидкости в щелевом канале на некоторой высоте относительно магнита образуется пузырь воздуха, проникающего в слой через верхнее отверстие в стенке щели.

Образование и трансформация пузыря воздуха в тонком слое иллюстрируется серией фотографий на рисунке 3.

При помещении щелевого канала с магнитной жидкостью непосредственно на торцевую поверхность магнита, а также на небольшой высоте слой магнитной жидкости в щели имеет форму сплошного диска (рисунок 3а). При перемещении вверх на некоторой высоте относительно магнита в слое образуется пузырь воздуха, проникающий через верхнее отверстие (рисунок 3б). Пузырь имеет форму круга и осевую симметрию.

При дальнейшем перемещении вверх слоя жидкости радиус пузыря увеличивается. На некоторой высоте он достигает максимума и затем

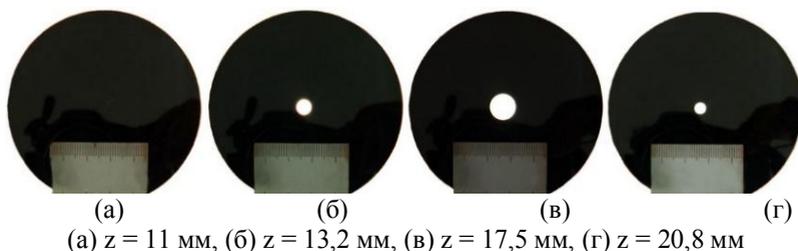


Рисунок 3. Фотографии тонкого слоя магнитной жидкости в поле кольцевого магнита на различной высоте  $z$

начинает уменьшаться вплоть до исчезновения (рисунок 3 в-г). Слой магнитной жидкости приобретает форму сплошного диска.

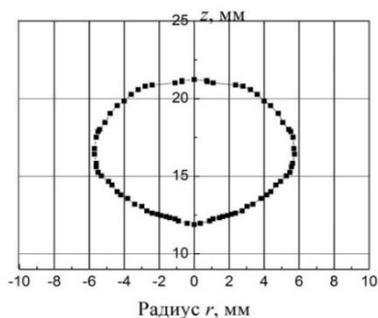


Рисунок 4. Влияние положения слоя ( $z$ ) магнитной жидкости на радиус

давления.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и гранта Президента РФ (МК-1393.2019.8).

## Литература

1. Боев, М.Л. Неустойчивость течения магнитной жидкости в процессе затопления ею воздушной полости / М.Л.Боев, В.М.Полунин, П.А.Ряполов, В.Г.Баштовой, А.Г.Рекс, Ю.Б.Казаков, И.Арефьев, Т.Арефьева //Изв. Высш. учебн. заведений, Физика.–2014.–№ 10.–С.47-53.
2. Amortisseur à inertie contenant un ferrofluide: Pat. Fr 2 894 004 , Int Cl<sup>8</sup> F 16 F 15/03 (2006.01), F 16 F 7/10 /Bashtovoi V., et al. ; опубли. 01.06.07 //Bulletin 07/22.