

Авторы признательны проф.М.С.Кракову за помощь в проведении численного моделирования исследованных процессов.

### Литература

1. Bashtovoi V.G., Berkovsky B.M., Vislovich A.N. An Introduction to Thermomechanics of Magnetic Fluids, Hemisphere Publ. Corp., 1988, Washington, 190 p.p.

2. Bashtovoi, V.G. The effect of diffusion processes on the statics of magnetic fluids / V.G. Bashtovoi, V.K. Polevikov, A.M. Algalad // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. – 2006. – No 3. P. 42 – 48.

3. Bashtovoi, V.G. Influence of Brownian Diffusion on the Statics of Magnetic Fluid / V.G. Bashtovoi [and others]. – Magnetohydrodynamics. – 2007. – Vol.43, No 1. – P.3-11.

4. Баштовой, В.Г. Процессы диффузионного и магнитофоретического массопереноса в нанодисперсных магнитных жидкостях с фазовыми переходами / В.Г.Баштовой, П.П.Кужир, А.Ю.Зубарев, В.С.Мороз // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук». – 2017. - № 2. – С. 78-87.

5. Bashtovoi, V. On the mechanics of magnetic fluids with field-induced phase transition: application to Couette flow / V.G. Bashtovoi, P.P. Kuzhir, A.Y. Zubarev, V.S. Moroz // Magnetohydrodynamics. – 2018. – V. 54, No 3. – P.181-197.

6. Bashtovoi, V. Effect of magnetophoresis and Brownian diffusion on mechanical processes in magnetic fluids: The role of a condensation phase transition / V. Bashtovoi, A. Reks, P. Kuzhir, A. Zubarev, O. Volkova, V. Moroz // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2020. – V. 498, 15 March. - 166148 (5 pages).

УДК 538.4

### **О ФОРМИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Баштовой В.Г., Рекс А.Г., Загадская А.А., Климович С.В.  
Белорусский национальный технический университет

Объектом настоящего исследования является возможности интенсификации процессов переноса при использовании магнитных жидкостей в качестве тепловоспринимающей среды.

Эффективность теплоотдачи нагретых поверхностей в значительной мере определяется интенсивностью конвективного движения тепловоспринимающей жидкости вблизи этих поверхностей [1]. Как правило, теплопередача интенсифицируется за счет увеличения скорости движения теплоносителя.

Новые широкие возможности интенсификации процессов переноса тепла могут быть реализованы при использовании магнитных жидкостей в качестве тепловоспринимающей среды. Эти возможности обусловлены высокой чувствительностью непосредственно самой жидкости, а также ее свободной поверхности к воздействию внешних магнитных полей [2-3].

Одним из путей реализации магнитоуправляемой теплоотдачи нагретых участков поверхностей является создание локального теплопередающего магнитожидкостного покрытия. Такое покрытие может быть создано благодаря действию объемной магнитной силы на магнитную жидкость в неоднородном магнитном поле.

Объемная магнитная сила может превышать гравитационную силу в сотни раз, и поэтому уникальность магнитожидкостного покрытия состоит в том, что оно может быть сформировано на пластине при любых ее ориентациях.

Магнитожидкостное покрытие позволяет реализовать два механизма управления переносом тепла с помощью магнитных полей. Во-первых, интенсификация теплоотдачи может быть обеспечена созданием развитой теплоотдающей поверхности магнитной жидкости в магнитном поле [4]. Во-вторых, в неоднородном магнитном поле наряду с гравитационным механизмом конвективного движения жидкости значительную роль может играть терромагнитный механизм [2-3].

Магнитожидкостное покрытие может быть основой для создания управляемых магнитожидкостных контактов различного назначения (акустических, тепловых электрических) [5].

В настоящей работе рассмотрены вопросы формирования локального магнитожидкостного покрытия на пластине и его устойчивости к отрыву.

Геометрия задачи показана на рисунке 1.

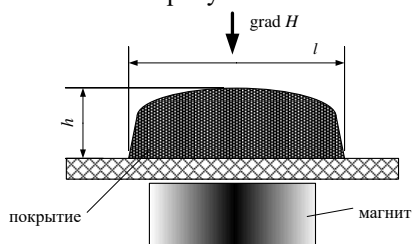


Рисунок 1 – Геометрия задачи

Магнитожидкостное покрытие формируется на пластине с помощью локально неоднородного поля постоянного магнита, расположенного под пластиной. Действующая объемная магнитная сила на магнитную жидкость в неоднородном магнитном поле притягивает жидкость к поверхности пластины и удерживает ее на ней. Форма поверхности покрытия характеризуется геометрическими размерами: высотой  $h$  и длиной основания  $l$ .

Для выполнения исследований формы покрытия были выбраны два образца магнитной жидкости на основе трансформаторного масла ММТ 21 и ММТ 44 с плотностями 1180 и 1445 кг/м<sup>3</sup>, намагниченностями насыщения соответственно 21,2 и 43,8 кА/М.

Для создания локально неоднородного магнитного поля использована система из двух кобальт-самариевых магнитов прямоугольной формы. Размеры каждого из магнитов 40x12x5 мм. На поверхности магнита максимальное значение напряженности поля магнитного достигает 180кА/м, а его градиента – 100000 кА/м<sup>2</sup>.

Верхняя плоская поверхность использовалась для создания на пластине нормального магнитного поля, боковая – для поля с тангенциальной составляющей.

Выполненная оценка величины объемной магнитной силы для использованных магнитных жидкостей ММТ-44 и ММТ-21 показала, что отношение объемной магнитной силы к силе тяжести  $\mu_0 M \nabla H / \rho g$  может достигать значения 260.

Эксперименты показали, что форма покрытия определяется физическими свойствами магнитных жидкостей, объемом жидкости, его положением на пластине (лежащее на пластине или подвешенное к нижней поверхности пластины), направлением магнитного поля и величиной его градиента.

В качестве иллюстрации в нижеприведенной таблице приведены характерные формы покрытия магнитной жидкостью ММТ-44 объемом 19000 мм<sup>3</sup> на горизонтальной пластине при различных направлениях магнитного поля.

	Тангенциальное поле grad $H = 78500$ кА/м <sup>2</sup>	Нормальное поле grad $H = 81280$ кА/м <sup>2</sup>
Лежащее покрытие	Подвешенное покрытие	Лежащее покрытие
		

В поле с тангенциальным направлением напряженности на поверхности пластины образуется лежащее покрытие с гладкой поверхностью. В магнитном поле с нормальной компонентой поверхность жидкости не является гладкой, а представляет собой систему распределенных по поверхности пиков, что обусловлено развитием поверхностной неустойчивости.

Зависимости геометрических параметров  $h$  и  $l$  от объема лежащего покрытия в тангенциальном магнитном поле приведены на рисунке 2.

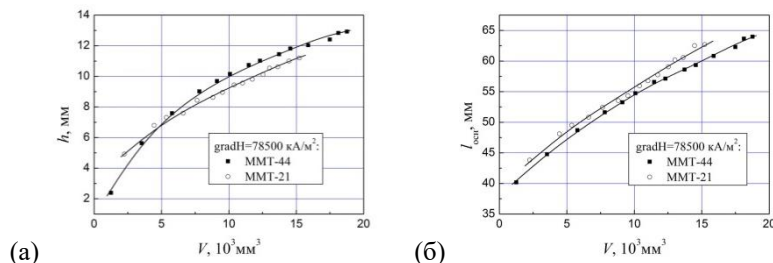


Рисунок 2. Зависимость геометрических параметров от объема лежащего покрытия в тангенциальном магнитном поле

Высота лежащего покрытия с увеличением объема жидкости пропорционально растет, и для магнитной жидкости ММТ-44 достигает 13мм (рисунок 2а). Магнитная жидкость с более слабыми магнитными свойствами ММТ-21 образует покрытие несколько меньшей высоты, но с более протяженным основанием, по сравнению с жидкостью ММТ-44 (рисунок 2а, б).

Особенность формирования подвешенного покрытия в том, что действующая вниз гравитационная сила увеличивает высоту покрытия по сравнению с лежащим покрытием (рисунок 3). Высота растет пропорционально объему жидкости, затем при некотором объеме на зависимости появляется перегиб, скорость изменения высоты возрастает, и объем жидкости достигает некоторого предела. Дальнейшее увеличение объема приводит к разрушению покрытия – происходит отрыв части вершины покрытия.

Отрыв части объема жидкости связан с тем, что область вершины покрытия находится в области более слабых магнитных полей. Градиент поля недостаточен для создания удерживающей жидкость магнитной силы, и под действием преобладающей силы тяжести происходит отрыв.

Характерно, что наиболее сильная зависимость предельного объема покрытия наблюдается на начальном участке зависимостей.

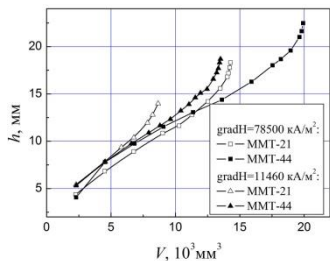


Рисунок 3. Зависимость высоты от объема подвешенного покрытия в тангенциальном магнитном поле

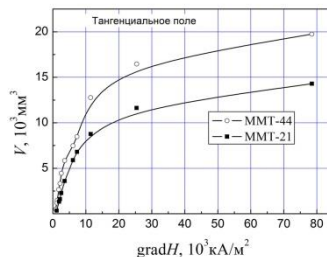


Рисунок 4. Зависимость предельного объема покрытия от градиента напряженности магнитного поля

### Литература

1. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С. Сукомел. – М: Энергия – 1968.
2. Баштовой В.Г., Берковский Б.М., Вислович А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. – М.:ИВТАН СССР, 1985. – 188с.
3. Берковский, Б.М. Магнитные жидкости /Б.М. Берковский, В.Ф.Медведев, М.С. Краков. – М.: Химия, 1989. – 240с.
4. Способ регулирования теплообмена: а.с.1472746 СССР, /В.Г.Баштовой и др. //Бюл. – 1989 – № 14.
5. Устройство для выращивания кристаллов с магнитоуправляемой локальной теплопередачей: Пат. 6333582 США / Behrle; Rainer (Daisendorf, DE), et al. – Оpubл. 04.08.1992.  
УДК 620.97

### ЭНЕРГООЦЕНКА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

Слащёв П.Н., Хутская Н.Г.  
Белорусский национальный технический университет

В современном мире в связи с ростом населения, расширением производственных мощностей и объемов выпуска продукции, особенно остро стоит вопрос о снижении потребления традиционных и поиска альтернативных, возобновляемых видов топлива для энергетической отрасли. Для того, чтобы увеличить уровень энергетической независимости, в нашей стране продолжается перевод котельных на возобновляемое топливо. Ежегодно возводятся новые «мини-ГЭЦ»,