

О СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧЕ ДИФФУЗИИ ФЕРРОЧАСТИЦ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

В.К. Полеви́ков (Минск, Беларусь)

Магнитные жидкости представляет собой устойчивый коллоидный раствор частиц твердого ферромагнетика в жидкости-носителе (керосин, вода, нефтяные масла и др.). Частицы имеют размер порядка 10^{-8} м и находятся в состоянии броуновского движения. Для того, чтобы предотвратить слипание частиц, их покрывают специальным немагнитным поверхностно-активным веществом. Макроскопическое взаимодействие магнитной жидкости с неоднородным внешним магнитным полем определяется силой, действующей на каждую частицу. Эта сила вызывает броуновское движение частиц относительно жидкости-носителя, в результате которого объемная концентрация частиц C возрастает в местах повышенной напряженности магнитного поля. Кроме того, действует обычный механизм диффузии: частицы из участков с более высокой концентрацией стремятся на участки с меньшей концентрацией. Конкуренция этих механизмов приводит к перераспределению объемной магнитной силы, действующей в жидкости.

Стационарное распределение концентрации C при наличии силы тяжести описывается уравнением

$$\nabla \cdot (\nabla C - C\xi L(\xi H) \nabla H - C\eta \vec{g}) = 0 \quad (1)$$

с граничным условием непроницаемости (поток частиц через границу равен нулю)

$$\frac{\partial C}{\partial n} - C\xi L(\xi H) \frac{\partial H}{\partial n} - C\eta g_n = 0 \quad (2)$$

и нелокальным условием сохранения средней концентрации частиц

$$\frac{1}{V} \int_V C dV = C_0, \quad (3)$$

где $\xi = \mu_0 m_m / kT$; $\eta = m / kT$; $L(\xi H) = \text{cth}(\xi H) - 1/\xi H$ m_m / kT ; $\xi = m / kT$; $L(\xi H) = \text{cth}(\xi H) - 1/\xi H$ – функция Ланжевена; H – напряженность магнитного поля; $\vec{g}$ – гравитационное ускорение; μ_0 – константа магнитной проницаемости вакуума; m_m – магнитный момент частицы; k – постоянная Больцмана; T – температура жидкости; m – масса частицы; V – объем жидкости; C_0 – заданная объемная концентрация частиц при их однородном распределении.

В работе исследованы вопросы существования и единственности решения задачи (1)–(3). Найдено точное решение. Установлено, что если жидкость находится в сильном магнитном поле, то может возникнуть диффузионная задача типа Стефана: частицы перемещаются в направлении градиента магнитного поля H , и если градиент достаточно большой, концентрация частиц вблизи полюсного наконечника магнита достигает максимально возможного значения $C_{\max}$, соответствующего плотной упаковке частиц. В этом случае объем V , занимаемый магнитной жидкостью, состоит из области V_1 , где $C < C_{\max}$, и области V_2 , в которой $C = C_{\max}$ (рисунок). Граница раздела между ними неизвестна и требует

задачи Стефана.



Представлено решение задачи об устойчивости магнитожидкостного уплотнения под действием внешнего перепада давления [1, 2] с учетом процесса диффузии. Обнаружено, что диффузия частиц в магнитожидкостном уплотняющем слое оказывает существенное влияние на критический перепад давления, при котором уплотнение разрушается.

Литература

1. Полевилов В. К. Об устойчивости статического магнитожидкостного уплотнения под действием внешнего перепада давления // Изв. РАН. МЖГ. 1997. № 3. С. 170–175.

2. Полевилов В. К., Тобиска Л. Моделирование динамического магнитожидкостного уплотнения при наличии перепада давления // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2001. № 6. С. 42–51.