

СЕДИМЕНТАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ В ОДНОРОДНОЙ ЖИДКОЙ МАТРИЦЕ ПРИ НАЛИЧИИ ТЕРМОДИФФУЗИИ

Е. А. Минеева, В. А. Демин

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Изотермическая задача об оседании частиц феррожидкости в тонком вертикальном канале без учета термодиффузии экспериментально и теоретически была рассмотрена ранее в [1]. Эксперименты проводились в соответствии с методикой, изложенной в диссертации [2]. Целью данной работы является численное исследование оседания частиц в неоднородно нагретой феррожидкости при изменении вертикальной разности температур с учетом термодиффузии.

Магнетитовые частицы имеют характерный размер порядка 10 нм. Малые размеры взвешенных частиц позволяют называть феррожидкость наносuspension. В роли несущей жидкости могут выступать разные среды, но наиболее распространенной является керосин.

Эволюция распределения концентрации частиц в отсутствие конвективного переноса подчиняется уравнению:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\Delta C + \alpha\Delta T + U\nabla C \cdot \vec{\gamma}.$$

Здесь T , C – это поля температуры и массовой концентрации частиц; $\vec{\gamma}$ – единичный вектор, направленный вертикально вверх; α – параметр, описывающий явление термодиффузии в коллоиде; U – скорость оседания частиц.

Зависимость распределения температуры от времени вдоль вертикального канала при нагреве с торцов в безконвективном приближении описывается стандартным уравнением теплопроводности. Для одномерного случая, когда температура зависит только от вертикальной координаты, точное решение этого уравнения записывается в виде ряда.

$$T(x, t) = \theta \left(1 - \frac{x}{l} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n} \exp \left\{ -\chi t \frac{\pi^2 n^2}{l^2} \right\} \sin \frac{\pi n x}{l} \right),$$

где θ – разность температур, l – длина канала, χ – температуропроводность смеси. Распределение концентрации в зависимости от времени описывается выражением:

$$C(x, t) = \frac{2hlC_0 e^{-\frac{Ux}{D}}}{1 - e^{-2hl}} + (Ax + B)e^{-\frac{Ux}{2D}} + \sum_{n=1}^{\infty} v_n Y_n(x) \exp \left\{ -\frac{Ux}{2D} - \frac{U^2 t}{4D} \right\},$$

где D – коэффициент диффузии, $h = U/2D$, $Y_n(x)$ – собственные функции одной из стандартных краевых задач математической физики, v_n – весовые множители. Ниже на рис. 1 графически представлены результаты численно-

го суммирования ряда температуры для случая определенной фиксированной разности температур при подогреве снизу.

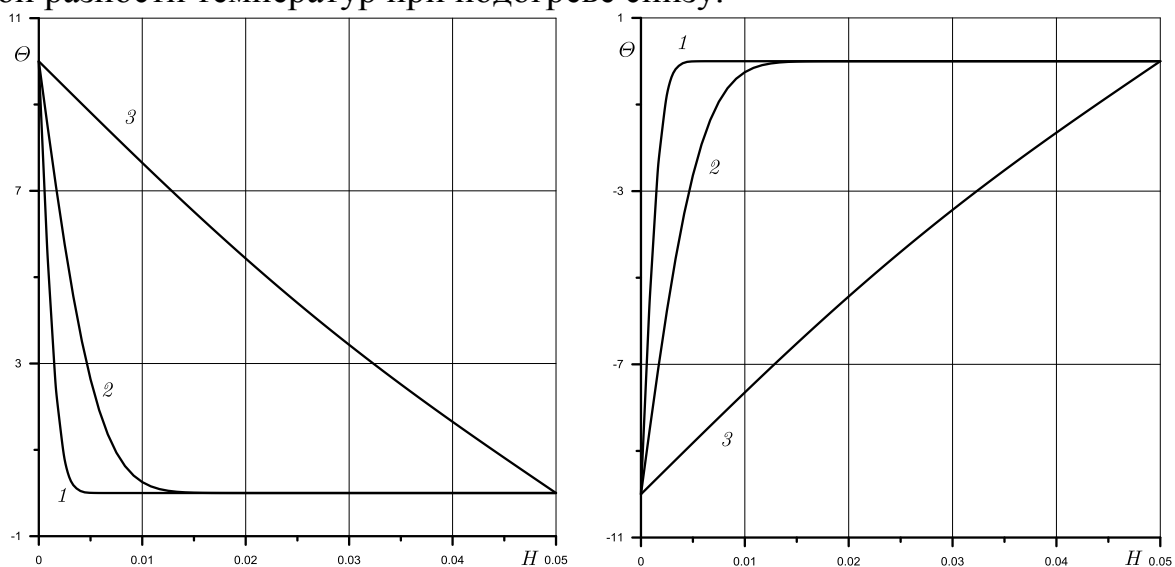


Рис. 1. Профили температуры в зависимости от вертикальной координаты; номера кривых отвечают моментам времени: 1 – 10, 2 – 10^2 , 3 – $6 \cdot 10^3$ с; а) $\theta = 10^\circ\text{C}$, б) -10°C .

Результаты численного суммирования ряда концентрации для случая начального равномерного распределения частиц при подогреве снизу приведены на рис. 2.

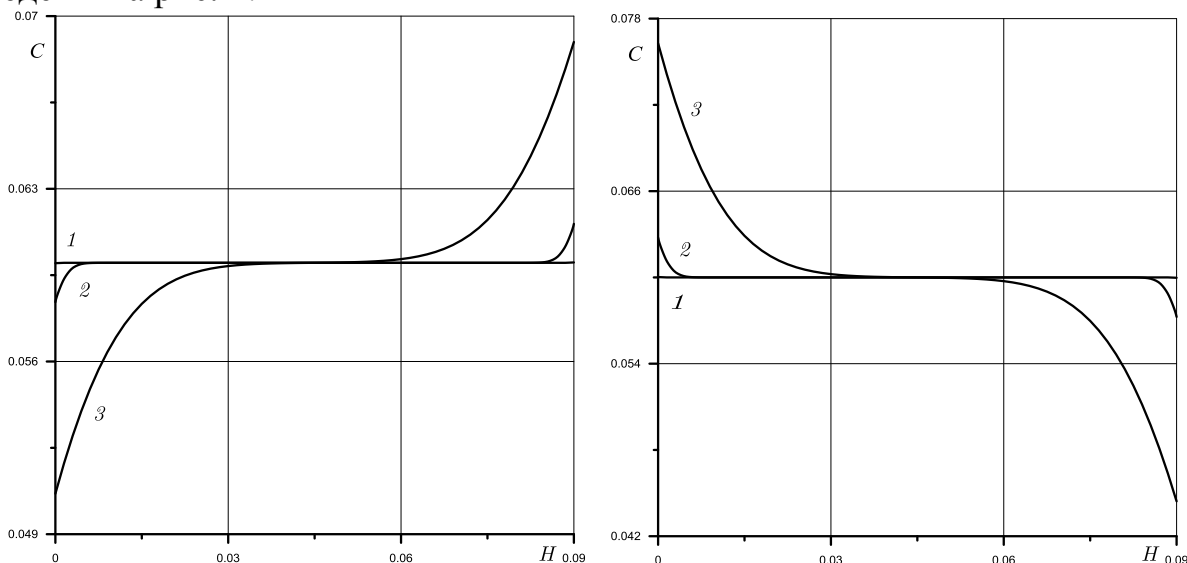


Рис. 2. Концентрация частиц при разности температур $\theta = 2^\circ\text{C}$; номера кривых отвечают моментам времени: 1 – 0 с, 2 – $1.5 \cdot 10^3$ с, 3 – $5 \cdot 10^6$ с; а) – $\alpha = 0.05$, б) – $\alpha = -0.05$

На рис. 2 вид кривых распределения частиц качественно меняется при смене направления градиента температуры. Это вызывается действием термодиффузии. При скорости седиментации 10^{-7} см/с положительная термодиффузия препятствует оседанию частиц, а отрицательная – наоборот, стремится ускорить процесс оседания на дно сосуда.

Методом подбора было определено, что при определенной разности температур и термодиффузионном параметре равновесие имеет место с самого начала в каждый последующий моменты времени. Результаты численного исследования показывают возможность экспериментального измерения термодиффузионного коэффициента для феррожидкости на основе керосина. Влияние термодиффузии в зависимости от разности температур на процесс перераспределения феррочастиц может быть определено на доступных временах.

Список литературы

1. Глухов А. Ф., Путин Г. Ф. Установление равновесного барометрического распределения частиц в магнитной жидкости // Гидродинамика: Сб. науч. трудов / Перм. ун-т. Пермь. 1999. Вып. 12. С. 92–103.
2. Глухов А. Ф. Экспериментальное исследование тепловой конвекции в условиях гравитационного расслоения // Дисс. канд. физ.-мат. наук. Пермь. 1995. – 140 с.
3. Демин В. А. Оседание наночастиц в однородно несущей жидкости при наличии термодиффузии // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. 2013. Вып. 1(23). С. 20–24.