

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

В.С. КУДАШКИНА, М.Т. КУЧУКОВА

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

Эксперименты по исследованию конвекции в магнитных коллоидах свидетельствуют о необходимости одновременного учета неоднородностей плотности теплового, барометрического и термодиффузионного происхождения [1–9].

В данной работе для изучения конвекции в магнитной жидкости использовалась шаровая полость диаметром 16.0 ± 0.1 мм, вырезанная в блоке из плексигласа размером $53 \times 53 \times 18$ мм³ (рис. 1). Блок ограничивался двумя алюминиевыми теплообменниками, по которым прокачивалась вода постоянной температуры. С помощью двух медь-константановых термопар регистрировались разности температур на полюсах полости ΔT и между теплообменниками $\Delta T'$. Для наблюдения за структурой конвективных течений использовалась система четырех медь-константановых термопар (обозначения 1–4), расположенных в экваториальной плоскости сферы. Одиночный конвективный вихрь с горизонтальной осью произвольной ориентации, соответствующий первой моде неустойчивости в сфере, может быть представлен как суперпозиция двух ортогональных базисных вихрей с осями, расположенными вдоль термопар 1–3 и 2–4 [5, 9].

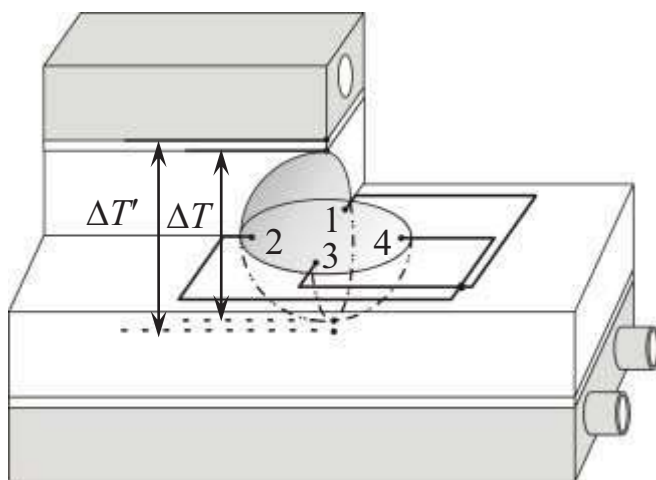


Рис. 1. Схема экспериментальной кюветы

Опыты проводились с магнитной жидкостью на основе трансформаторного масла с частицами магнетита диаметром порядка 10 нм, стабилизированными олеиновой кислотой. Плотность коллоида составляла $0.89 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, намагниченность насыщения – 44.9 кА/м, вязкость – 0.069 Па·с.

В шаровой полости после превышения критического перепада температуры, который составил $\Delta T_c = 2.4 \text{ К}$, возникает колебательное конвективное движение в виде одиночного вихря, ось которого лежит в экваториальной плоскости полости. Запись с четырех экваториальных термопар, регистрирующих интенсивность течения такого вала, для $\Delta T = 2.6 \text{ К}$ показана на рис. 2. Числа по вертикали соответствуют номерам экваториальных термопар. Как видно из термограммы, колебания в шаровой полости носят нерегулярный характер: участки, на которых меняется знак температурного сигнала Θ , и, соответственно, направление циркуляции течения, чередуются с отрезками, на которых значение Θ меняется в пределах 0.1 К, что отвечает прецессии оси конвективного вала.

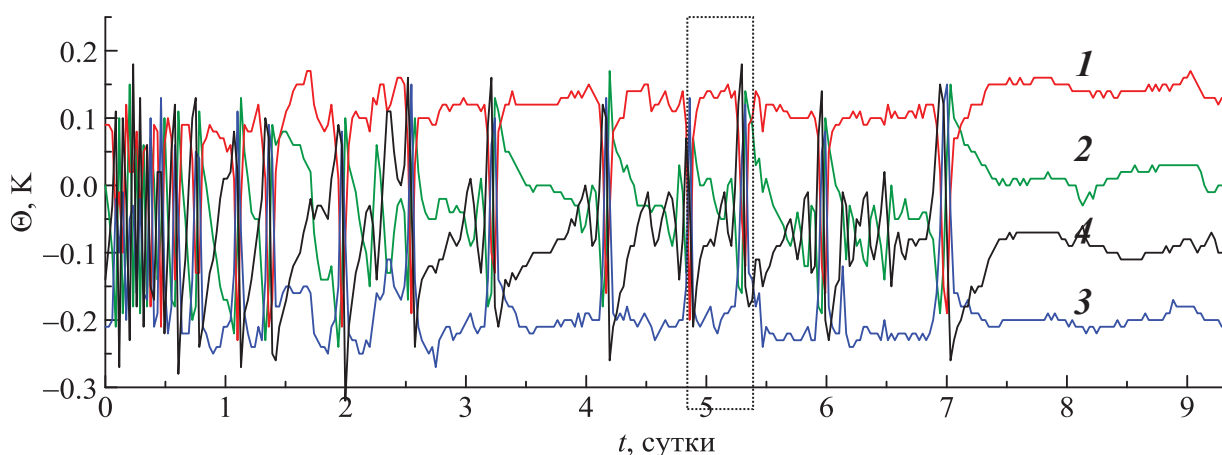


Рис. 2. Термограмма экваториальных термопар при $\Delta T = 2.6 \text{ К}$

На рис. 3 показан переход после того, как был установлен заданный перепад ΔT , от почти гармонических колебаний с периодом около 80 мин. к релаксационным колебаниям с нарастающим периодом.

Выделенный на рис. 2 прямоугольной рамкой фрагмент увеличен на рис. 4, на котором вертикальными штриховыми линиями отмечены моменты времени, соответствующие поворотам вектора угловой скорости конвективного вала ω . Положение вектора ω в фиксированные моменты времени А – Д в экваториальной плоскости шара с отвечающими данным интервалам времени показаниями термопар показаны на рис. 5.

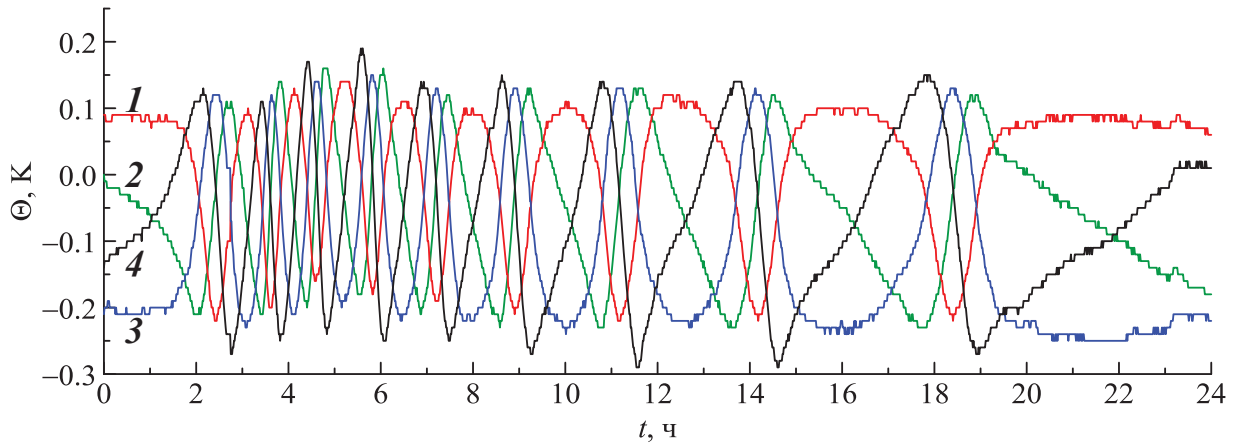


Рис. 3. *Переход от квазигармонических к релаксационным колебаниям в течение первых суток при $\Delta T = 2.6$ К*

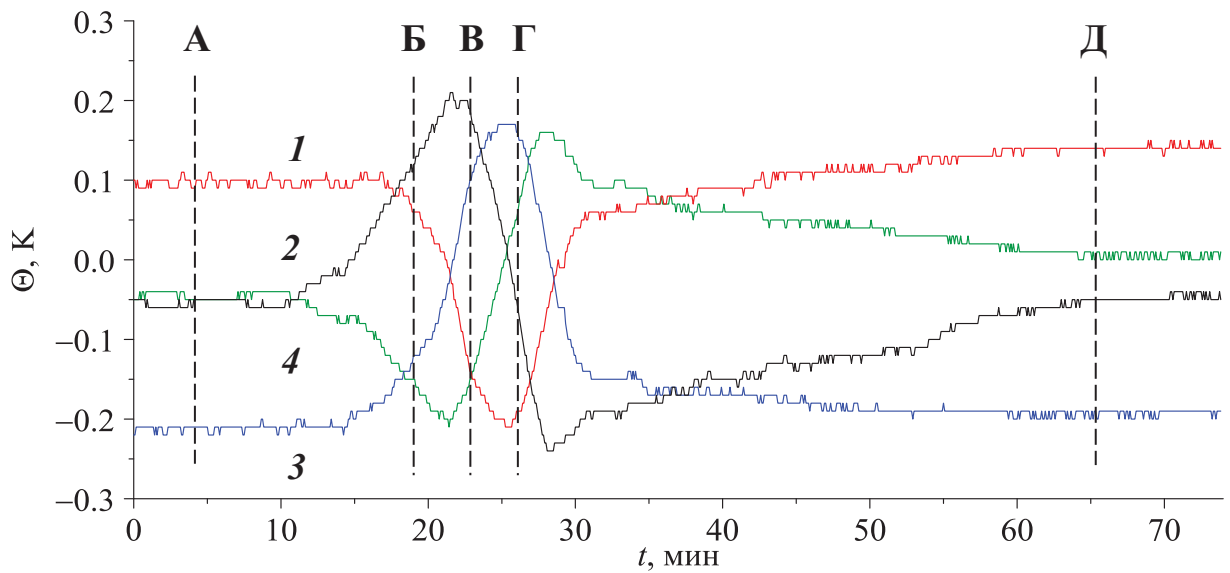


Рис. 4. *Увеличенный фрагмент термограммы рис. 2*

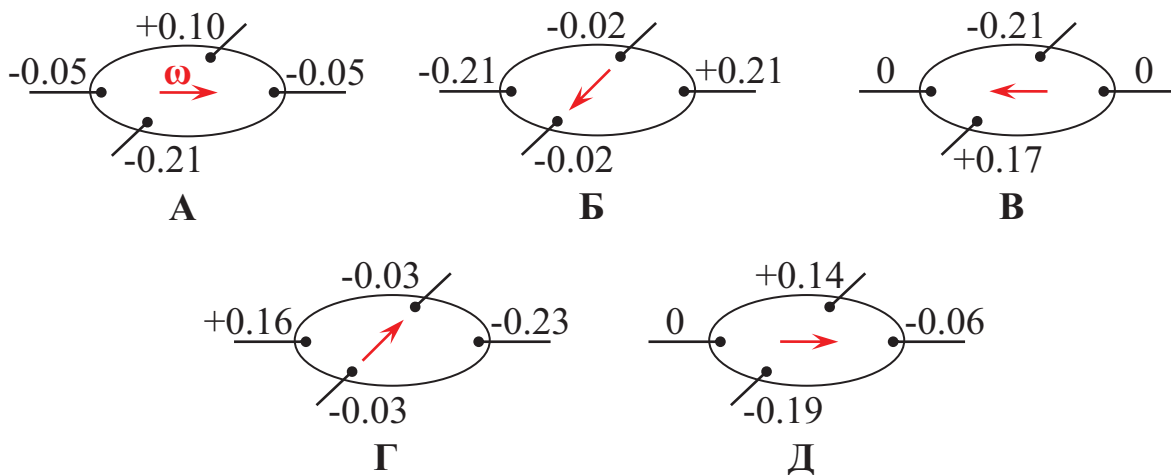


Рис. 5. *Положения вектора угловой скорости конвективной ячейки в экваториальном сечении шара в моменты времени А – Д на рис. 4*

Из рис. 2 видно, что в течение 7 суток от начала опыта происходили спонтанные повороты оси конвективного вала, а затем в течение 2 суток наблюдалась лишь прецессия вала. Как показали последующие эксперименты, длившиеся до двух месяцев, такое почти стационарное течение через несколько дней может смениться вновь последовательностью слабых или интенсивных колебательных движений. Таким образом, автоколебания, возникающие вблизи порога конвекции в шаровой полости, заполненной магнитной жидкостью, имеют нелинейный и незатухающий характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блум Э. Я., Майоров М. М., Цеберс А. О. Магнитные жидкости. Рига: Зинатне, 1989. 386 с.
2. Божко А. А., Путин Г. Ф. Экспериментальное исследование термомагнитной конвекции в однородном внешнем поле // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1991. Т. 55. № 6. С. 1149–1155.
3. Bozhko A. A., Putin G. F. Heat transfer and flow patterns in ferrofluid convection // Magnetohydrodynamics. 2003. V. 39. № 2. P. 147–168.
4. Bozhko A., Putin G. Thermomagnetic convection as a tool for heat and mass transfer control in nanosize materials under microgravity conditions // Microgravity Science and Technology. 2009. V. 21. P. 89-93.
5. Bozhko A. A. Onset of convection in magnetic fluids // J. Physics Procedia. 2010. V. 9. P. 176–180.
6. Кучукова М. Т. Влияние магнитного поля на конвекцию магнитной жидкости в шаровой полости // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. Пермь. 2011. Вып. 5 (9). С. 118 – 122.
7. Bozhko A. A., Kuchukova M. T., Putin G. F. The influence of external uniform magnetic field on convection in magnetic fluid filling a spherical cavity // Magnetohydrodynamics. 2013. V. 49. № 1. P. 161–168.
8. Bozhko A. A., Putin G. F., Sidorov A. S., Suslov S. A. Convection in a vertical layer of stratified magnetic fluid // Magnetohydrodynamics. 2013. V. 49. № 1. P. 143–152.
9. Огородникова Н. П., Путин Г. Ф. Периодические и нерегулярные конвективные автоколебания в эллипсоиде // Доклады АН СССР. 1983. Т. 269. № 5. С. 1065–1068.