

УДК 550.31

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ СОСУДЕ

© 2003 г. Член-корреспондент РАН Ю. Н. Авсюк, В. Н. Родионов, С. В. Кондратьев

Поступило 10.01.2003 г.

В настоящее время получены многочисленные свидетельства наличия крупномасштабных динамических структур как во внешних, так и во внутренних геосферах. Структурирование среды является одним из показателей активности глобальных эволюционных процессов, связанных с энергомассопереносом под действием сил инерции и гравитации. В сообщении приводятся примеры образования слоев сдвига внутри заполненного жидкостью сосуда, вращающегося вокруг наклонной оси. Эксперимент может рассматриваться как качественная иллюстрация возможного источника возбуждения некоторых составляющих магнитного поля Земли.

Временную вариацию магнитного поля определяют по среднегодовым значениям. Среди вариаций выделена вариация с периодом 6.07 лет, которую считают связанной с внутренним источником [1]. Астрометристы регистрируют изменения положения оси вращения в теле Земли и по среднегодовым значениям широт обнаруживают вариацию с периодом 6–7 лет [2].

Близость этих периодичностей дает основание началу поиска в модельных исследованиях условий, при которых вращательные движения сферического резервуара и жидкости в нем не совпадают.

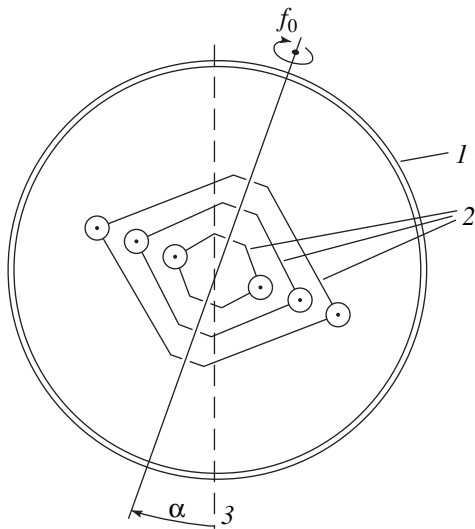
Модельные исследования проводились на специально созданной в ИДГ РАН экспериментальной установке для изучения квазистационарных течений во вращающемся объеме жидкости. Установка позволяет вращать сосуд с жидкостью вокруг вертикальной или наклонной оси с заданной угловой скоростью в течение длительного времени. Высокоточная подгонка деталей и узлов установки дала возможность исключить сколь угодно значимые механические биения. Установка оборудована системой электронной стабилизации скорости вращения сосуда, системой контроля его текущей скорости вращения, системой стробоскопического освещения, системой кон-

троля температуры, а также другими устройствами и приспособлениями. При работе установки производится компьютерный контроль ряда основных и вспомогательных параметров.

Как показал проведенный поиск, при вращении сосуда вокруг наклонной оси движение жидкости в нем может происходить в стационарном режиме, отличном от твердотельного. В этом случае на частицу жидкости действует объемная сила, являющаяся суперпозицией силы тяжести и центробежной силы. Величина и направление действия результирующей силы зависят от азимута, что и приводит к рассогласованию движений жидкости и сосуда.

В данной серии экспериментов использовался изготовленный из оргстекла сферический сосуд с внутренним диаметром 200 мм и толщиной стенки 4 мм. Ось сосуда являлась жестко с ним скрепленный металлический стержень диаметром 8 мм. Для визуализации движения различных частей объема жидкости на оси сосуда размещались три вставки (вертушки). Вертушки имели по два симметричных плеча из тонкой проволоки с лопастями в виде дисков диаметром 10 мм. Центры лопастей всех трех вертушек располагались в экваториальной плоскости сосуда, а сами лопасти – перпендикулярно к ней. Расстояния  $r$  от оси до центров лопастей составляли 63 мм ( $\frac{r}{R} = 0.63$ ,  $R$  – радиус сосуда), 43 мм ( $\frac{r}{R} = 0.43$ ) и 23 мм ( $\frac{r}{R} = 0.23$ ). Массы вертушек соответственно 0.65, 0.55 и 0.45 г. Вертушки, заметно не влияя на гидродинамические характеристики течения жидкости, могли вращаться независимо друг от друга и от сосуда вокруг общей с ним оси.

Эксперименты проводили в следующем порядке. Из заполненного сосуда откачивали незначительную часть жидкости  $\Delta V$  (создавался воздушный пузырь). Ось сосуда отклонялась от вертикали на заданный угол  $\alpha$ , и включался электропривод. Стационарное вращение сосуда со скоростью  $f_0$  устанавливается за 5–10 с, а режим движения жидкости в нем – за 50–60 с. В данной серии экспериментов в качестве жидкости использовалась



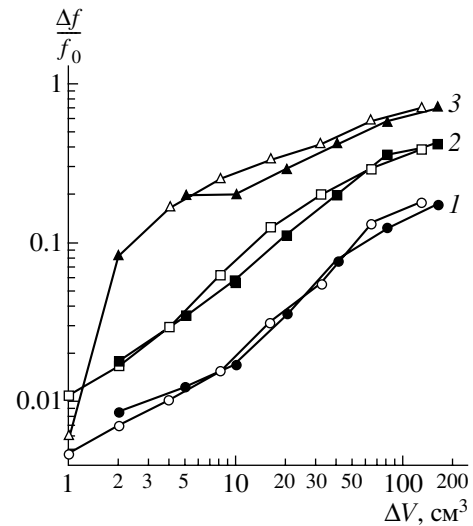
**Рис. 1.** Схема эксперимента. 1 – сосуд с жидкостью; 2 – вертушки; 3 – вертикаль.

дистиллированная вода,  $\alpha = 20^\circ$ , а  $f_0 = 2$  об/с. Схема экспериментов приведена на рис. 1.

Видеозаписи зарегистрировали, что при наклонной оси все три вертушки вращаются с меньшими угловыми скоростями, чем сосуд. При этом скорость отставания  $\Delta f = f_0 - f$  ( $f$  – угловая скорость вертушки) сильно зависит от объема воздушного пузыря  $\Delta V$  или от площади свободной поверхности жидкости под ним, являющейся возмущающим течение фактором. При вертикальной оси, т.е. при  $\alpha = 0$ , такого отставания нет, через 50–60 с после включения мотора (или после перевода оси вращающегося сосуда из наклонного в вертикальное положение) вертушки начинают вращаться синхронно с сосудом вне зависимости от величины  $\Delta V$ . Результаты анализа видеозаписей показаны на рис. 2. Рисунок дает также представление о хорошей повторяемости результатов (затемненные и незатемненные значки относятся к экспериментам, проведенным в разное время).

На рис. 3 приведены значения  $\frac{\Delta f}{f_0}$ , полученные для  $\Delta V = 4 \text{ см}^3$  (менее 1/1000 объема сосуда) при регистрации в течение 4 ч. Рисунок свидетельствует о стационарности течений жидкости, возникающих в сферическом сосуде при вращении вокруг наклонной оси. Тенденцию к незначительному росту величин  $\frac{\Delta f}{f_0}$  можно объяснить некоторой дегазацией объема жидкости за время наблюдения, приводящей к увеличению  $\Delta V$ .

Рисунки 2 и 3 показывают также, что в диапазоне  $2 \text{ см}^3 \leq \Delta V < 200 \text{ см}^3$  величина  $\Delta f$  существенно



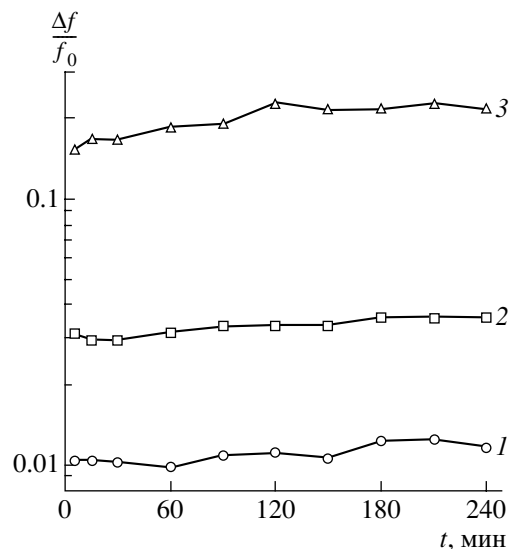
**Рис. 2.** Влияние параметра  $\Delta V$ .  $\frac{r}{R} = 0.63$  (1), 0.43(2), 0.23 (3).

зависит от  $r$ , т.е. различные части объема вращающейся жидкости двигаются дифференциально. При  $0 \leq \Delta V < 2 \text{ см}^3$  такого четкого разделения нет.

Отметим, что при уменьшении угла наклона оси сосуда  $\alpha$  и (или) скорости его вращения  $f_0$  величина обнаруженного эффекта снижается. Уменьшение диаметра жесткой оси сосуда ведет к снижению ее влияния и к увеличению значений  $\Delta f$ .

Проведенные эксперименты со сферическим сосудом позволяют сделать следующие выводы:

в резервуаре с жидкостью под действием переменных объемных сил могут возникать рассогласованные с ним стационарные течения;



**Рис. 3.** Стабильность процесса при  $\Delta V = 4 \text{ см}^3$ .  $\frac{r}{R} = 0.63$  (1), 0.43 (2), 0.23 (3).

движение различных частей объема жидкости происходит дифференциально;

степень рассогласованности движений жидкости и резервуара сильно зависит от величины возмущающего фактора.

Отметим, что похожие результаты были получены в ИДГ РАН при исследовании течения жидкости в кольцевом канале, вращающемся вокруг наклонной оси с постоянной угловой скоростью [3].

Последующая детализация эксперимента будет ориентирована на исследование структурных и кинематических характеристик обнаруженных течений и влияния на них малых возмущающих факторов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 03-05-64230а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Паркинсон У.* Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. 527 с.
2. *Манк У., Макдональд Г.* Вращение Земли. М.: Мир, 1964. 384 с.
3. *Авсюк Ю.Н., Кондратьев С.В., Родионов В.Н.* В сб. Динамические процессы в геосферах под действием внешних и внутренних потоков энергии и вещества. М., 1998. С. 109–114.