

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ И СТОКОВ УГЛОВОГО МОМЕНТА ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ НЕОДНОРОДНО НАГРЕТОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ

¹Попова Е.Н., ¹Сухановский А.Н., ^{1,2}Евграфова А.В.

¹Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь), ²Пермский государственный научный исследовательский университет (Пермь)

Основной причиной развития крупномасштабных течений в атмосфере и океане является взаимодействие силы Кориолиса с массовыми силами, обусловленными наличием горизонтального градиента температуры или концентрации. Конвективная природа атмосферных течений определяет большой интерес к лабораторному и численному исследованию конвективных задач во вращающихся слоях жидкости.

Особое место в изучении вращающихся конвективных систем занимают исследования вихрей над локализованными источниками тепла. Интерес к таким исследованиям обусловлен изучением интенсивных вихревых образований в атмосфере, таких как тропические циклоны. Проблема возникновения тропических циклонов привлекает внимание ученых на протяжении последних десятилетий.

Как известно, ключевым для формирования азимутальных течений во вращающемся слое является транспорт углового момента благодаря меридиональной циркуляции [1-4]. Изменение углового момента слоя и его распределения было экспериментально и численно исследовано в [5, 6]. В этих работах было показано, что при наличии твердых границ вязкие взаимодействия приводят к обмену угловым моментом между жидкостью и стенками. Стационарное распределение азимутальных течений возможно только в случае баланса источников и стоков углового момента на твердых границах полости. При этом распределение углового момента в жидкости и потоки углового момента на границе жидкость-стенка существенно зависят от основных параметров задачи - физических свойств жидкости, скорости вращения слоя и нагрева. Варьирование этих параметров может приводить к существенным изменениям интенсивности циклонического вихря при сохранении общей структуры движения. Помочь в понимании того, как характеристики стационарного вихря зависят от начальных и граничных условий, может анализ транспорта углового момента в жидкости и его потоков на границах для различных значений управляющих параметров. Именно это и является основной задачей данного исследования.

Исследование проводилось при помощи лабораторного эксперимента и численного моделирования в отечественном CFD пакете FlowVision. Экспериментальная модель представляет собой цилиндрическую полость радиусом 15 см, установленную на стенде, обеспечивающем строго равномерное вращение в широком диапазоне скоростей. Толщина слоя составляла 3 см, а в качестве рабочих жидкостей использовались различные силиконовые масла. Измерения полей скорости производились при помощи

PIV системы «Полис». Результаты экспериментальных измерений и численного моделирования хорошо согласуются. Полученные результаты показали первостепенную важность радиального переноса углового момента для формирования интенсивного циклонического вихря. Интенсивный циклонический вихрь в центральной части полости существует в достаточно узком диапазоне управляющих параметров. Уменьшение вязкости, рост нагрева или скорости вращения сначала приводят к потере осесимметричности вихря, а затем к его распаду. Для описания эволюции структуры вихря проведено детальное изучение транспорта углового момента меридиональной циркуляцией, определено расположение стоков и источников углового момента в вязких пограничных слоях на дне и боковой стенке. Исследована структура локализованного циклонического вихря при уменьшении вязкости рабочей жидкости. Показано, что потеря устойчивости циклонического вихря связана с перестройкой структуры радиального течения.

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ № 14-01-96011 и № 16-31-00150.

1. Williams, G.P., Thermal convection in a rotating fluid annulus: part 2. Classes of axisymmetric flow // J. Atmos.Sci., 1967, V. 24, P. 162-174.
2. Williams, G.P., Thermal convection in a rotating fluid annulus: part 3. Suppression of the frictional constraint on lateral boundaries // J. Atmos.Sci., 1968, V. 25, P. 1034-1045.
3. Read, P.L., Super-rotation and diffusion of axial angular momentum: I. "Speed limits" for axisymmetric flow in a rotating cylindrical fluid annulus // Quart J.R.Met.Soc., 1986, V. 112, P. 231-252.
4. Bogatyrev, G.P., Excitation of a cyclonic vortex or a laboratory model for a tropical cyclone // Pisma Zh.Eksp. Teor. Fiz., 1990, V. 51, P. 557-559.
5. Read, P.L., Super-rotation and diffusion of axial angular momentum: II. A review of quasi-axisymmetric models of planetary atmospheres // Quart J.R.Met.Soc., 1986, V. 112, P. 253-272.
6. Сухановский А. Н. Формирование дифференциального вращения в цилиндрическом слое жидкости // Вычислительная механика сплошных сред, 2010, Т. 2, № 2, С. 103-115.