



Структура параметрической резонансной конвекции во вращающемся цилиндрическом слое жидкости¹

Вяткин А.А., Козлов В.Г., Петухов С.А.

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь

Тепловая конвекция, вызванная периодическим изменением одного из параметров, характеризующих тепловое равновесие, является объектом большого числа исследований. К наиболее изученным способам параметрического воздействия на конвекцию относятся: модуляции температурных граничных условий, модуляции ускорения поля тяжести [1] и модуляции скорости вращения [2].

В работе представлены результаты PIV-исследования тепловой конвекции во вращающемся толстом цилиндрическом слое жидкости. Слой образован внутренним алюминиевым теплообменником 1 и оргстеклянной трубой 2 (Рис. 1). Разогрев слоя происходит изнутри с использованием электрического нагревателя, установленного на оси вращения. Охлаждение реализуется через внешнюю цилиндрическую стенку 2. В полости между цилиндрами 2 и 3 циркулирует охлаждающая жидкость постоянной температуры. Подробное описание экспериментальной установки и методики исследования

представлено в [3].

В поле центробежной силы инерции при быстром вращении жидкость находится в устойчивом квазиравновесном состоянии — распределение температуры стационарно, осесимметрично и имеет максимум на внутренней границе слоя. Особый класс образуют постановки задач с горизонтальным расположением оси вращения. При этом в системе отчета полости поле силы тяжести совершает осцилляции и возмущает поле центробежной силы с частотой вращения. Обнаружено, что в от-

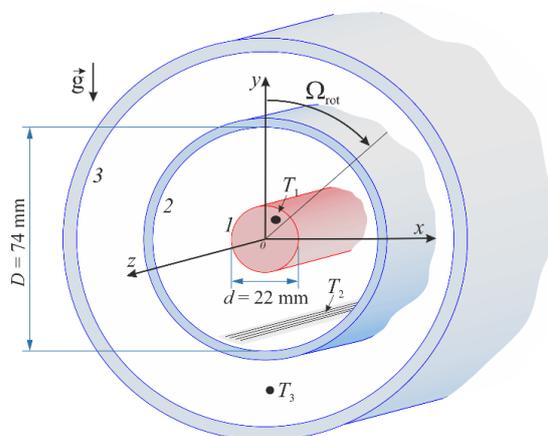


Рис. 1. Схема кюветы в поперечном сечении

¹Работа поддержана Министерством просвещения РФ (проект КРЗУ-2023-0002).

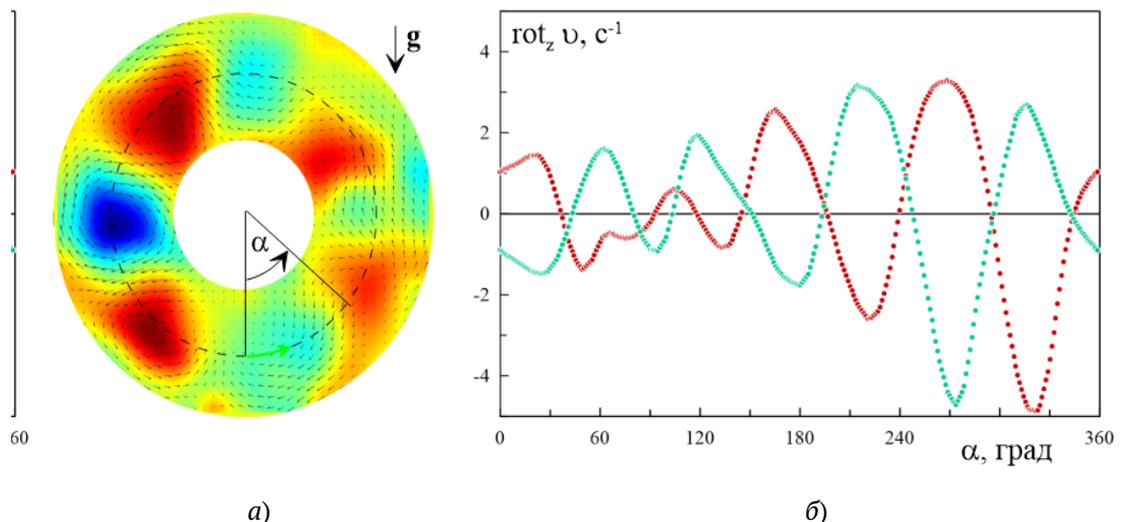


Рис. 2. Результаты PIV-исследования: а) поле мгновенной завихренности; б) азимутальные профили завихренности; $f_{rot} = 0.9$ об/с; разность температур границ слоя $\Theta = 26^\circ\text{C}$

носителем толстых цилиндрических слоев с понижением скорости вращения в слое пороговым образом возбуждаются параметрические колебания жидкости с частотой в два раза меньшей частоты вращения. На Рис. 2 показано поле мгновенной завихренности в поперечном сечении.

Конвективные течения представляют собой двумерные валы, вытянутые вдоль оси вращения, соседние валы согласованно вращаются в противоположных направлениях. Валы расположены преимущественно в левой части кюветы на поднимающейся стороне стенки (слой вращается по часовой стрелке). В течение одного оборота скорость вращения отдельного вала, движущегося вместе с полостью, достигает максимума в левой части и меняется на противоположное — в правой. На графике указаны азимутальные профили мгновенной завихренности, полученные через один период вращения. Обнаружено, что знак завихренности сменился на противоположный, а положения центров конвективных валов практически не изменились.

Параметрические колебания устойчиво стратифицированной в поле центробежной силы неизотермической жидкости при вращении полости вокруг горизонтальной оси наблюдаются впервые. Обнаруженные в работе колебания аналогичны па-

раметрическим колебаниям устойчиво стратифицированной жидкости в горизонтальном плоском слое при модуляции силы тяжести [1].

При дальнейшем понижении скорости вращения параметрическая конвекция сменяется термовибрационной. При этом на фоне колебаний неизотермической жидкости, возбуждаемых вращающимся полем силы тяжести с частотой вращения, в жидкости генерируются осредненные виброконвективные течения, которые в пороге имеют вид квазистационарных валов, вытянутых вдоль оси вращения [4]. Результаты экспериментов обобщены на плоскости управляющих параметров.

Список литературы

- [1] Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 392 с.
- [2] Sterl S., Li H.M., Zhong J.Q. Dynamical and statistical phenomena of circulation and heat transfer in periodically forced rotating turbulent Rayleigh-Bénard convection // *Physical review fluids*. 2016 V. 1(8). P. 084401. DOI:10.1103/PhysRevFluids.1.084401.
- [3] Kozlov V.G., Vjatkin A.A., Sabirov R.R., Myznikov V.M. Methods of experimental study of thermal convection in cavity subject to rotation and vibration // *MethodsX*. 2019. V. 6. P. 2420–2428. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.10.005>.
- [4] Vjatkin A., Siraev R., Kozlov V. Theoretical and Experimental Study of Thermal Convection in Rotating Horizontal Annulus // *Microgravity Sci. Technol.* 2020. V. 32. P. 1133–1145. <https://doi.org/10.1007/s12217-020-09827-7>.