

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРЫ СТОХАСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В КОНВЕКТИВНОЙ ЯЧЕЙКЕ

Г.П.Богатырев, В.Г.Гилев, В.Д.Зимин

Обнаружено, что режимы стохастических колебаний с доминирующей пространственной частотой и режимы с перемежаемостью пространственных мод отличаются закономерностью чередования пиков во временном спектре амплитуды низшей пространственной моды.

Стохастические режимы течения, возникающие после кризиса стационарного или колебательного движения жидкости, исследуются путем измерения временных энергетических спектров локальных значений скорости. Измерения спектров выполнены для течения Куэтта в цилиндрических [1, 2] и сферических [3] слоях жидкости, а также для некоторых задач естественной конвекции [4].

В связи с тем, что вблизи кризиса возбуждается небольшое число пространственных мод, представляет большой интерес измерение пространственно-временных спектров течения. Временные спектры скорости во вращающихся слоях жидкости [1 — 3] частично отражают пространственную структуру течения, так как измерения производятся в точке, неподвижной относительно лабораторной системы отсчета. Спектры скорости в задачах естественной конвекции относятся к коллективному поведению пространственных мод. В области стохастических колебаний такие спектры трудно интерпретировать.

В данной работе выполнен пространственно-временной фурье-анализ стохастических колебаний при естественной конвекции жидкости в подогреваемой снизу замкнутой полости. Полость, заполненная дистиллированной водой, имела форму короткого горизонтального цилиндра диаметром $D = 30,9$ мм и длиной $d = 4,7$ мм. На торцах цилиндра задавался однородный градиент температуры A , направленный вниз под углом α к вертикали.

При выбранной геометрии полости пространственная структура стационарных надкритических движений однозначно определяется профилем температуры в среднем горизонтальном сечении [5]. Температура в этом сечении измерялась термопарами, спаи которых были установлены с шагом 3 мм на линии, проходящей через центр полости. Сигналы термопар подавались на вход аналоговой схемы, выполняющей дискретное преобразование Фурье. В опытах регистрировались амплитуды $b_n(t)$ четырех низших пространственных гармоник $\sin \frac{\pi(n+1)x}{D}$ ($n = 1, 2, 3, 4$). Каждой пространственной гармонике соответствует стационарное надкритическое движение, которое при определенных условиях удавалось наблюдать в чистом виде. Номер n определяет число конвективных ячеек.

При $0 \leq \alpha < 30^\circ$ с ростом числа Релея $R = \frac{\rho g B}{\eta \chi} \left(\frac{d^4}{2} \right) A$ наблюдается последовательность сменяющих друг друга стационарных движений b_n . В диапазоне $R = 70 \pm 2$ четырехячеестое движение b_4 сменяется сто-

хастическими колебаниями, характер которых зависит от параметров R и α и от предыстории процесса.

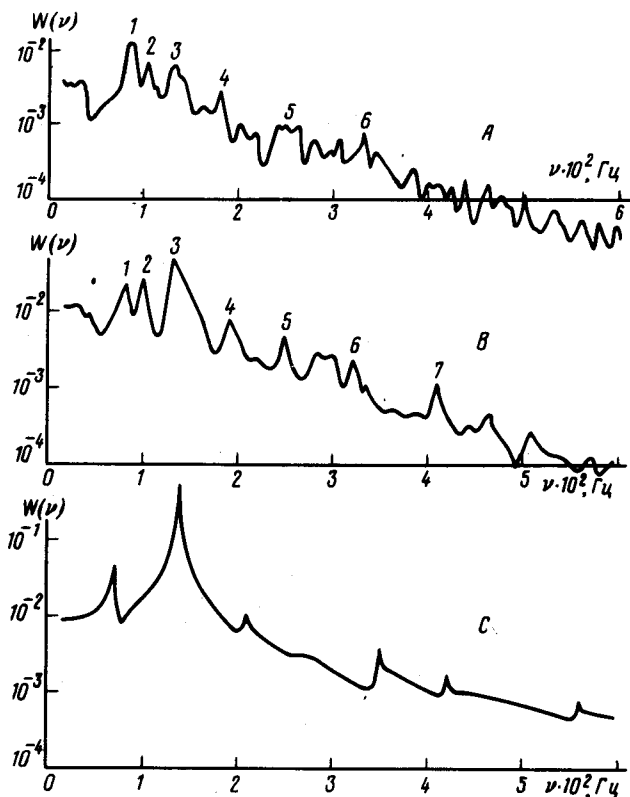


Рис.1. Временные энергетические спектры $W(\nu)$ амплитуды пространственной гармоники b_1 при $R = 75$:
 A - $\alpha = 0$, B - $\alpha = 15^\circ$, C - $\alpha = 20^\circ$.

В спектрах стохастических колебаний (рис.1) можно выделить серии пиков с двумя типами зависимости частоты ν_N от номера пика N . В обоих случаях спектр колебаний сплошной. Колебания первого типа (рис.1, кривая C) напоминают регулярные и характеризуются наличием доминирующей пространственной моды. Пики в их временном спектре соответствуют кратным частотам $\nu_N = N\nu_1$. Колебания второго типа (рис.1, кривые A и B) отличаются перемежаемостью пространственных мод. Зависимость ν_N от N в этом случае квадратичная (рис.2). Переход от одного типа колебаний к другому при изменении параметров R и α происходит кризисным образом.

Положение некоторых пиков легко отождествляется с частотой колебаний амплитуды b_1 на отдельных отрезках записи $b_n(t)$ (рис.3). На отрезке 1 имеется большая постоянная составляющая величины b_4 , а частота колебаний b_1 соответствует пику $N = 4$. На отрезке 2 доминирует пространственная мода b_3 . Движение b_4 — подавлено, а частота колебаний b_1 соответствует пику $N = 3$.

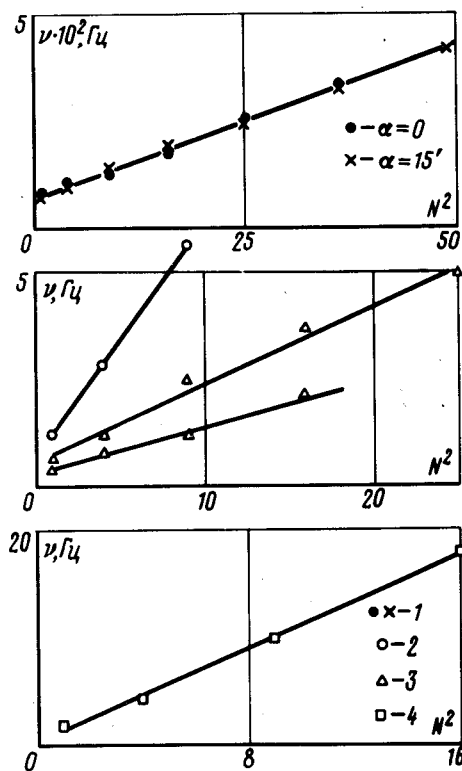


Рис.2. Зависимость частоты ν_N от номера пика: 1 — результаты авторов, 2 — [2], 3 — [6], 4 — [1]

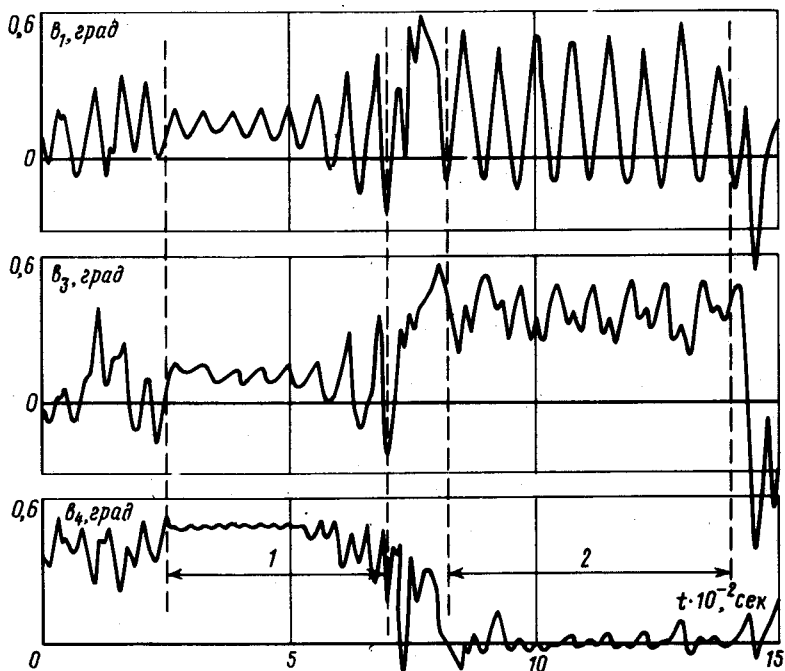


Рис.3. Зависимость от времени амплитуд пространственных гармоник b_n при $R = 75$, $\alpha = 0$

В заключение отметим, что в спектрах течения Куэтта можно выделить несколько групп пиков, для которых выполняется квадратичная зависимость средней частоты группы от номера группы. Для получения средней частоты группы было произведено сглаживание спектров, приведенных в [1, 2, 6]. Результаты обработки представлены на рис.2.

Отдел физики полимеров
УНЦ

Поступила в редакцию
7 июня 1980 г.

Литература

- [1] J.P.Gollub, H.L.Swinney. Phys. Rev. Lett., 31, 927, 1975.
 - [2] Е.А.Кузнецов, В.С.Львов, А.А.Предтеченский, В.С.Соболев, Е.Н.Уткин. Письма в ЖЭТФ, 30, 226, 1979.
 - [3] Ю.Н.Беляев, А.А.Монахов, С.А.Щербаков, И.М.Яворская. Письма в ЖЭТФ, 29, 329, 1979.
 - [4] J.P.Gollub, S.V.Benson. Phys. Rev. Lett., 41, 948, 1978
 - [5] Г.П.Богатырев, В.Г.Гилев. Сб. "Конвективные течения", Пермь, вып.1, 1979.
 - [6] V.S.L'vov, A.A.Predtechensky. Preprint 111, Institute of Automation and Electrometry, Novosibirsk, 1979.
-