

## ХАОТИЧЕСКАЯ АВТОМОДУЛЯЦИЯ ДВУМЕРНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

*А.Б.Езерский, П.И.Коротин, М.И.Рабинович*

Экспериментально показано, что переход к турбулентности на поверхности тяжелой жидкости при ее параметрическом возбуждении происходит в результате развития пространственно-временной модуляции двумерных волновых структур – решеток. Превышение накачкой критического значения приводит к смене периодического режима модуляции хаотическим. Переход к хаосу осуществляется через перемежаемость – образование дислокаций.

1. Возникновение стационарных пространственных структур характерно для предтурбулентных режимов многих гидродинамических течений. Это валы или ячейки Бенара при термомоноконвекции в плоском слое, вихри Тейлора в течении Куэтта между вращающимися цилиндрами, кольцевые вихри в затопленных струях и т. д. Повышение степени неравновесности системы часто приводит к тому, что эти структуры – элементарные ячейки – начинают колебаться с определенной частотой и конечной амплитудой. Примеры – азимутальные колебания вихрей Тейлора, или изгибные колебания валов при термомоноконвекции. В результате возникновения таких осциллирующих ячеек течение по существу представляет собой цепочку или решетку связанных элементарных "генераторов". Характер перехода от регулярной решетки осциллирующих ячеек (структур) к турбулентности зависит от размеров системы. Если течение осуществляется в замкнутой области, которая содержит лишь небольшое число ячеек, то при повышении надкритичности они, обычно, начинают нерегулярно во времени делиться и объединяться, в результате чего и возникает хаотический режим; т. е. в данной ситуации ячейки при появлении турбулентности разрушаются. Если же размеры системы много больше размеров ячеек-осцилляторов, то возможен, в принципе, переход к хаосу совершенно иного рода – ячейки не разрушаются, а лишь меняется характер их пульсаций и на смену периодическому режиму модуляции приходит стохастический. Подобная стохастическая модуляция структур, судя по косвенным данным, наблюдалась в цепочке вихрей Тейлора, возникающей в течении Куэтта между цилиндрами <sup>1</sup>.

В данной работе сообщается о впервые наблюдавшемся переходе к турбулентности через хаотическую модуляцию двумерных структур на поверхности вязкой жидкости, находящейся в периодически осциллирующем однородном поле тяжести.

Параметрически возбуждаемые на поверхности жидкости регулярные структуры наблюдались еще в прошлом веке <sup>2</sup> (рябь Фарадея) и сейчас подробно исследованы <sup>3</sup>. Переход к хаосу наблюдался совсем недавно, причем только в резонаторе с небольшим числом



Дальнейшее увеличение  $R$  приводит к появлению на фоне четырехгранников волн модуляции с пространственным периодом порядка размеров кюветы. Направление распространения этих волн совпадает с направлением распространения параметрически возбуждаемых волн, образующих четырехгранники. При последующем увеличении  $R$  скорость волн модуляции растет, а их пространственный период уменьшается (см. рис. 3). Переход к хаосу происходит при  $R_{кр2} = 12,5 \text{ м/с}^2$ , когда теряет устойчивость наиболее коротковолновый режим модуляции — режим  $\pi$ -колебаний. Непосредственно за критической точкой характер модуляции структур оказывается весьма своеобразным — наблюдаются крупные блоки, в которых регулярность расположения ячеек не нарушена (ламинарные участки), граничащие с небольшими участками хаотического расположения ячеек (турбулентность). По мере роста надкритичности  $r = (R - R_{кр2}) / R_{кр2}$  ламинарные участки сокращаются, а турбулентные увеличиваются. Это иллюстрирует рис. 2 — вторая сверху фотография соответствует предтурбулентному режиму ( $r = -0,2$ ), следующая — стохастическому режиму вблизи критической точки ( $r = 0,05$ ) и, наконец, нижняя — уже развившемуся хаосу ( $r = 1,4$ ). Описанная картина перехода от регулярной динамики к стохастической характерна для явления перемежаемости, детально исследованного для маломерных динамических систем <sup>5</sup>.

На рис. 4 представлены двумерные пространственные фурье-спектры контраста, соответствующие режимам, представленным на рис. 2. Видно, что непосредственно за точкой перехода в спектре еще сильны дискретные составляющие, которые по мере увеличения  $r$  уменьшаются и исчезают — см. последний спектр на рис. 4.

3. Для феноменологического описания наблюдавшегося перехода к турбулентности можно воспользоваться дискретной (в пространстве) динамической моделью. В рамках такой модели элементарные ячейки решетки должны представлять собой нелинейные параметрически возбуждаемые осцилляторы, связанные друг с другом. Подчеркнем, что при численном исследовании подобной модели — одномерной цепочки связанных самовозбуждающихся генераторов — обнаружен переход, <sup>6</sup> аналогичный наблюдавшемуся. Как и в описанном эксперименте, возникновению стохастичности предшествовал регулярный режим пространственно-временной автомодуляции, переходящий при  $r = 0$  через перемежаемость в режим хаотической модуляции.

Авторы признательны А.В.Гапонову-Грехову за плодотворные дискуссии.

#### Литература

1. Львов В.С., Предтеченский А.А., Черных А.И. ЖЭТФ, 1981, 80, 1099.
2. Faraday M. Phyl. Trans. R. Soc. Lond., 1831, 121, 299.
3. Кузнецов Е.А., Спектр М.Д. ЖЭТФ, 1976, 71, 262.
4. Ciliberto S., Gollub J.P. Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 922.
5. Eckmann J.P. Rev. Mod. Phys., 1981, 53, 643.
6. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И., Старобинец И.М. ДАН СССР, 1984, 279, 625.