

ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ ТИПА I С ШУМОМ И ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ ИГОЛЬНОГО УШКА В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

Д.И. Данилов¹, А.А.Короновский^{1,2}

¹ФГБОУ ВПО "Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского",

410012, Астраханская, 83, Саратов, Россия

²ФГБОУ ВПО "Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина",

410054, Политехническая, 77, Саратов, Россия

danilov_dm89@mail.com

Фундаментальное явление перемежаемости представляет большой интерес для исследователей, так как его можно наблюдать в самых различных системах – физических, биологических, химических, социальных и т.д. Перемежаемость классифицируют по нескольким типам: перемежаемость типа I-III, on-off перемежаемость, перемежаемость игольного ушка, перемежаемость кольца. Каждый из этих типов характеризуется тем, что во временном ряду присутствуют два различных режима, чередующиеся друг с другом. Однако каждый тип перемежаемости обладает своими особенностями и характеристиками.

Одним из наиболее интересных вопросов при исследовании явления перемежаемости является переход в системе связанных осцилляторов от асинхронной динамики к синхронной через перемежаемость. В научной литературе описано существование двух типов перемежающегося поведения для хаотических систем, наблюдающихся при разрушении режима фазовой синхронизации в случае, когда собственные частоты взаимодействующих осцилляторов отличаются мало, – перемежаемость типа I и перемежаемость игольного ушка. При этом, если уменьшать параметр связи, то после разрушения синхронного режима следует сначала режим перемежаемости игольного ушка, а затем режим перемежаемости типа I. В работах [1, 2] на примере систем с малым числом степеней свободы показано, что режим перемежаемости игольного ушка эквивалентен режиму перемежаемости типа I с шумом. Представляет интерес, будет ли эта закономерность наблюдаться для более сложных, а именно, пространственно-распределенных систем. Исследованию этого вопроса и посвящена данная работа.

В качестве модельной системы были выбраны два однонаправленно связанных диода Пирса. Диод Пирса [3] представляет собой две бесконечные плоские параллельные сетки, пронизываемые бесконечно широким потоком электронов. Пространство между сетками заполнено нейтрализующим фоном неподвижных ионов с плотностью, равной невозмущенной плотности заряда в электронном потоке. При использовании гидродинами-

ческого приближения исследуемая система описывается системой уравнений движения, непрерывности и Пуассона:

$$\begin{aligned}\frac{\partial v_{1,2}}{\partial t} &= -v_{1,2} \frac{\partial v_{1,2}}{\partial x} - \frac{\partial \varphi_{1,2}}{\partial x}, \\ \frac{\partial \rho_{1,2}}{\partial t} &= -\frac{\partial(\rho_{1,2} v_{1,2})}{\partial x}, \\ \frac{\partial^2 \varphi_{1,2}}{\partial x^2} &= -\alpha_{1,2}^2 (\rho_{1,2} - 1),\end{aligned}\quad (1)$$

с граничными условиями

$$v_{1,2}(0, t) = 1, \rho_{1,2}(0, t) = 1, \varphi_{1,2}(0, t) = 0, \quad (2)$$

где φ – безразмерный потенциал поля пространственного заряда, v – безразмерная плотность потока, x – безразмерная координата, t – безразмерное время, α – параметр Пирса, являющийся управляющим параметром для каждой системы, $\alpha_1 = 2.858\pi$, $\alpha_2 = 2.862\pi$. Индексы 1 и 2 обозначают ведущую и ведомую систему соответственно.

В работах [1, 2] для сопоставления режимов перемежаемости типа I с шумом и перемежаемости игольного ушка использовался анализ распределений длительностей ламинарных фаз. Чтобы построить такие распределения, необходимо выделить ламинарные и турбулентные фазы из временной реализации. Для этого была введена в рассмотрение мгновенная фаза колебаний как угол поворота на фазовой плоскости. При этом по осям на фазовых плоскостях ведущей и ведомой системы были отложены сигналы, полученные в двух разных точках соответствующей системы. Для выделения ламинарных фаз использовался модифицированный метод, анализирующий скользящее среднее разности фаз вместо непосредственно самой разности фаз взаимодействующих систем (как это было описано в работе [3]).

Известно [1, 2], что для перемежаемости игольного ушка зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности выражается законом:

$$-\ln(1/T) = c_0 - c_1 |\varepsilon_{PS} - \varepsilon|^{-1/2}, \quad (3)$$

где c_0, c_1 – константы, ε_{PS} – граница фазовой синхронизации, в то время как для перемежаемости типа I с шумом подобная зависимость при $\varepsilon > \varepsilon_c$ выглядит следующим образом:

$$T = \frac{1}{k\sqrt{\varepsilon - \varepsilon_c}} \exp\left(\frac{4(\varepsilon - \varepsilon_c)^{3/2}}{3D}\right), \quad (4)$$

где D – интенсивность шума, ε_c – точка седлоузловой бифуркации. Соответственно, если численно рассчитанная зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности будет одновременно

удовлетворять обоим этим соотношениям, то этот факт можно считать подтверждением того, что перемежаемость типа I с шумом и перемежаемость игольного ушка являются, по своей сути, одним и тем же типом поведения. На рис. 1 показаны данные зависимости, полученные при помощи численного моделирования, а также соответствующие теоретические зависимости. Видно, что с хорошей точностью теоретические данные совпадают с данными численного моделирования.

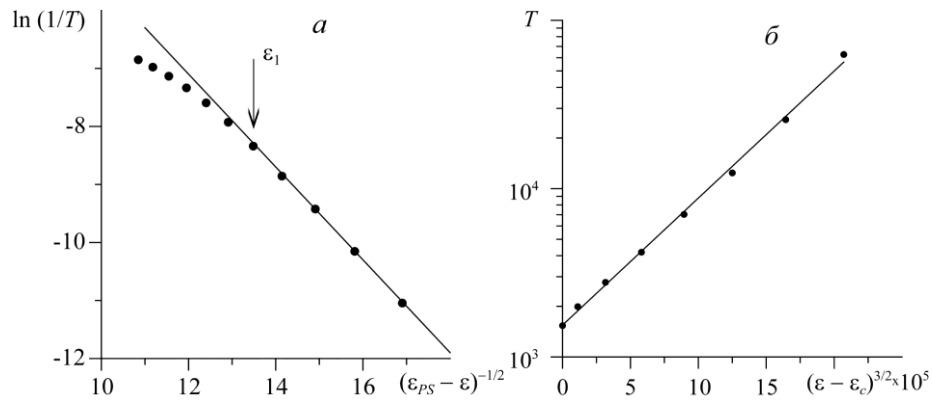


Рис. 1. Зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности, положенная на теоретическую зависимость для случая *а*) перемежаемости игольного ушка и *б*) перемежаемости типа I с шумом.

Таким образом, в данной работе исследовано поведение пространственно-распределенных систем вблизи перехода к режиму синхронизации на примере однонаправленно связанных диодов Пирса. Показано, что наблюдающийся при этом режим перемежаемости можно трактовать как перемежаемость игольного ушка, так и перемежаемость типа I с шумом. Полученный результат можно считать дополнительным подтверждением того, что эти типы перемежаемости являются одним и тем же типом поведения.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.В37.21.1289).

ЛИТЕРАТУРА

1. Hramov A.E., Koronovskii A.A., Kurovskaya M.K., Moskalenko O.I. // Phys. Lett. A. 2011. V. 375. P. 1646.
2. Короновский А.А., Куровская М.К., Москаленко О.И., Храмов А.Е. // Известия вузов. ПНД. 2010. Т. 18. № 1. С. 24.
3. Журавлев М.О., Куровская М.К., Москаленко О.И. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. № 10. С. 31.