

Переменяющееся поведение пространственно–распределенных систем, находящихся в режиме фазовой синхронизации, на граничных временных масштабах наблюдения

М.О. Журавлев^{1,2,*}, А.А. Короновский^{1,2}, О.И. Москаленко^{1,2}, А.Е. Храмов^{1,2}

¹*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, факультет нелинейных процессов, кафедра физики открытых систем Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, к. 8*

²*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, факультет экологии и сервиса, кафедра геоэкологии и инженерной геологии Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, к. 5*

Проведено исследование поведения пространственно-распределенных систем при переходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике. В качестве объекта исследования выбрана система однонаправлено связанных диодов Пирса. Установлено, что переход от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике для пространственно-распределенных систем осуществляется через перемежаемость «кольца».

PACS: 05.45.Tr, 05.45.Xt.

УДК: 530.182.

Ключевые слова: перемежаемость, вейвлетное преобразование, пространственно-распределенные системы, синхронизация временных масштабов.

Синхронизация хаотических колебаний представляет собой одно из фундаментальных явлений, наблюдающихся в широком классе объектов природы и техники, и привлекает пристальное внимание исследователей [1, 2]. Интерес к этому феномену связан как с большим фундаментальным значением его исследования [1], так и с широким кругом практических приложений, например, при скрытой передаче информации [3], в биологических, химических, физических задачах [4], при управлении хаосом, в том числе в системах СВЧ электроники [5].

В настоящее время выявлено несколько типов синхронного поведения однонаправлено и взаимно связанных динамических систем, таких как фазовая синхронизация [6], обобщенная синхронизация [7], синхронизация с запаздыванием [8], полная синхронизация [9], синхронизация временных масштабов [10] и др., каждый из которых обладает своими специфическими особенностями и методами диагностики.

Из известных типов синхронного поведения особый интерес для изучения представляет синхронизация временных масштабов [10]. Этот тип синхронной хаотической динамики позволяет рассматривать с единых позиций все типы хаотической синхронизации, перечисленные выше. Более того, он может быть диагностирован даже в тех случаях, когда детектирование других типов синхронного поведения оказывается проблематичным (например, диагностика фазовой хаотической синхронизации в системах с фазово-некогерентным аттрактором [11]), что делает его широко распространенным и важным в различных практических приложениях. Важно также отметить широкие возможности диагностики хаотической синхронизации с помощью метода синхронизации временных масшта-

бов в случае многомасштабного хаоса.

Синхронизация временных масштабов основана на анализе поведения рассматриваемых систем на различных временных масштабах, вводимых в рассмотрение с помощью непрерывного вейвлетного преобразования с комплексным базисом [12]. В этом случае, если для временных реализаций, порождаемых рассматриваемыми системами, можно найти такой диапазон временных масштабов, для которого наблюдается синхронное поведение, то такой режим называется синхронизацией временных масштабов [10].

Особое внимание в исследовании синхронной динамики связанных хаотических систем направлено на изучение состояний, предшествующих синхронизации. В настоящее время существует большое количество работ, в которых установлено, что переход от синхронного режима к асинхронному осуществляется, как правило, через перемежающееся поведение, наблюдаемое вблизи границ синхронизации [8, 13]. Кроме того, известно, что каждому из типов синхронизации предшествуют свой определенный тип перемежаемости. В рамках недавних работ по изучению перемежающегося поведения на границе синхронизации временных масштабов [14–16], было показано, что на границе этого режима реализуется перемежаемость «кольца». Необходимо отметить, что все проведенные ранее исследования перемежающегося поведения на границе синхронизации временных масштабов проводились для поточковых систем, что в свою очередь, оставляет открытым вопрос о том, какой тип поведения будет реализовываться при переходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике в пространственно-распределенных системах. Изучение подобного явления позволит более глубоко понять механизмы установления данного типа хаотической синхронизации в пространственно-распределенных системах.

Настоящая работа посвящена исследованию поведения пространственно-распределенных систем при пере-

*E-mail: zhuravlevmo@gmail.com

ходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике. В качестве объекта исследования выбраны однонаправленно связанные диоды Пирса. Проведен анализ статистических характеристик (распределений длительностей ламинарных участков поведения при фиксированных значениях управляющих параметров, зависимости средней длительности ламинарных участков от параметра надкритичности), на основе которого установлено, что переход от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике пространственно-распределенных систем осуществля-

ется также через перемежаемость «кольца» [13–15].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного задания высшим учебным заведениям на 2014 год и плановый период 2015 и 2016 годов в части проведения научно-исследовательских работ (СГТУ-141), Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-807.2014.2) и РФФИ (грант № 14-02-31088-мол-а).

-
- [1] *Boccaletti S., Kurths J., Osipov G.* Phys. Rep. **366**, P. 1 (2002).
- [2] *Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю.* Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. (М.: Техносфера, 2003). с. 496. с
- [3] *Roy R.* Nature. **438**, P. 298. (2005).
- [4] *Elson R.C. et al.* Phys. Rev. Lett. **81**, No 25. P. 5692. (1998).
- [5] *Ticos C.M., et al.* Phys. Rev. Lett. **85**, No 14. P. 2929. (2000).
- [6] *Rosenblum M.G., Pikovsky A.S., Kurths J.* Phys. Rev. Lett. **76**, No 11. P. 1804. (1996).
- [7] *Rulkov N.F., et al.* Phys. Rev. E. **51**, No 2. P. 980. (1995).
- [8] *Rosenblum M.G., Pikovsky A.S., Kurths J.* Phys. Rev. Lett. **78**, No 22. P. 4193. (1997).
- [9] *Pecora L.M., Carroll T.L.* Phys. Rev. Lett. **64**, No 8. P. 821. (1990).
- [10] *Hramov A.E., Koronovskii A.A.* Chaos. **14**, No 3. P. 603. (2004).
- [11] *Rosenblum M.G., Pikovsky A.S., Kurths J.* Phys. Rev. Lett. **89**, No 26. P. 264. (2002).
- [12] *Grossman A., Morlet J.* SIAMJ. Math. Anal. **15**, No 4. P. 273. (1984).
- [13] *Boccaletti S., Valladares D.L.* Phys. Rev. E. **62**, No 5. P. 7497–7500. (2000).
- [14] *Zhuravlev M.O., et al.* Phys. Rev. E. **83**, P. 027201. (2011).
- [15] *Журавлев М.О., и др.* Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика. **19**, 4. С. 12. (2011).
- [16] *Журавлев М.О., и др.* ЖТФ. **81**, No 7. С. 7. (2011).

Intermittent behavior of spatially extended systems in phase synchronization regime at the boundary time scales of observation

M. O. Zhuravlev^{1,2,a}, A. A. Koronovskii^{1,2}, O. I. Moskalenko^{1,2}, A. E. Hramov^{1,2}

¹*Department of physics of open systems, Faculty of nonlinear processes, Saratov State University Saratov 410012, Russia.*

²*Department of geocology and engineering geology, Faculty of ecology and service, Saratov State Technical University Saratov 410054, Russia*
E-mail: ^azhuravlevmo@gmail.com

Behavior of spatially extended systems at transition from time scale synchronization regime to the asynchronous dynamics is studied. Unidirectionally coupled Pierce diodes have been chosen as a system under study. Transition from the time scale synchronization regime to the asynchronous dynamics for spatially extended systems is shown to be performed through the ring intermittency.

PACS: 05.45.Tp, 05.45.Xt.

Keywords: intermittency, wavelet transform, spatially extended systems, time scale synchronization.

Сведения об авторах

1. Журавлев Максим Олегович — ассистент; тел. (8452) 99-85-54, e-mail: zhuravlevmo@gmail.com.
2. Короновский Алексей Александрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел. (8452) 51-42-94, e-mail: alexey.koronovskii@gmail.com.
3. Москаленко Ольга Игоревна — канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент; тел. (8452) 51-21-11, e-mail: o.i.moskalenko@gmail.com.
4. Храмов Александр Евгеньевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел. (8452) 99-85-59, e-mail: hramovae@gmail.com.