

УДК: 546.831:517.938 + 621.3.014

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ ТОКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ ОКСИГИДРАТА ЦИРКОНИЯ

Ю.И. Сухарев, А.М. Кострюкова, Б.А. Марков
e-mail: such@susu.ac.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья поступила 12 декабря 2004 г.

Введение

Оксигидратные гели можно интерпретировать как системы динамические диссипативные. В теории динамических систем, в частности, рассматривают и законы перехода к хаотическому состоянию. Для оксигидратных систем переход к хаосу происходит через удвоение периода [1].

В определенных экспериментальных условиях в гелевых оксигидратах циркония возникает дискретный электроток [2]. Данное явление связано с процессами самоорганизации геля во времени. Фазовые диаграммы кривых тока образуют нерегулярные аттракторы, подобные странным нехаотическим аттракторам [3].

Представляет интерес подробнее исследовать экспериментально полученные аттракторы фазовых диаграмм возникновения тока.

1. Экспериментальная часть

В работе исследовали свежеприготовленные гели оксигидрата циркония. Гелеобразные оксигидраты синтезировали добавлением 10 %-го раствора аммиака к раствору оксихлорида циркония при определенных температурах (283 К, 284 К и 286 К). В процессе синтеза контролировали значение pH раствора и доводили его до заданных значений. Измерения проводились при pH=7,0; pH=8,0; pH=9,0.

Далее гель помещали в трубчатую ячейку диаметром 0,8 см с электродами, которую подключали к электронной системе регистрации тока [2]. Межэлектродное расстояние составляло 5 и 7 см. Выходной сопротивление электронной системы приближалось к нулю, т. е. гелевая ячейка замыкалась накоротко, и замерялся пульсирующий поляризационный электроток, возникающий в ячейке. Эксперимент проводили в течение 6 часов. Ячейку с гелем термостатировали при температурах 283 К, 284 К и 286 К.

2. Теоретические предпосылки

Движения диссипативных динамических систем разделяют на два класса: переходные, нестационарные движения, отвечающие процессу релаксации от начального к предельному множеству состояний, и класс установившихся, стационарных движений, фазовые траектории которых целиком принадлежат предельным множествам. Притягивающие предельные множества называют аттракторами. Результатом исследований последних лет явилось обнаружение принципиально новых типов движений в динамических системах [3]. Таким движениям в фазовом пространстве размерности $N \geq 3$ соответствуют сложным образом устроенные притягивающие

множества, траектории изображающих точек которых не принадлежат ни к одному из описанных ранее в литературе аттракторов. Именно с существованием таких траекторий связывают возможность хаотического поведения детерминированных динамических систем с размерностью фазового пространства $N \geq 3$.

Притягивающая область в фазовом пространстве динамической системы, характеризующаяся режимом установившихся непериодических колебаний, называется странным аттрактором [3].

Классические свойства детерминированного хаоса как непериодических экспоненциально неустойчивых решений соответствующих динамических систем демонстрируют грубые гиперболические системы. Гиперболические аттракторы должны удовлетворять определенным условиям [3], однако для реальных динамических систем эти условия не выполняются. Вместе с тем, известны квазигиперболические аттракторы, для которых выполняются два из трех условий гиперболичности. Одним из таких аттракторов является квазигиперболический аттрактор Лози:

$$X_{N+1} = 1 - a|X_N| + Y_N; \quad Y_{N+1} = bX_N.$$

Более сложными объектами являются квазиаттракторы. Отличительной чертой квазиаттракторов можно считать одновременное сосуществование счетного множества различных хаотических и регулярных притягивающихся подмножеств в ограниченном объеме фазового пространства системы при фиксированных значениях ее параметров. Бассейны притяжения сосуществующих аттракторов представляют собой чрезвычайно сложную структуру вложенных областей, обладающих фрактальной геометрией. В результате квазиаттракторы демонстрируют высокую чувствительность к изменению начальных условий и действию шума [3]. Одним из таких аттракторов является квазиаттрактор в отображении Хенона (рис. 1):

$$X_{N+1} = 1 - aX_N^2 + Y_N; \quad Y_{N+1} = bX_N.$$

Отображение Хенона отличается от отображения Лози тем, что в качестве нелинейности включает гладкую квадратичную функцию.

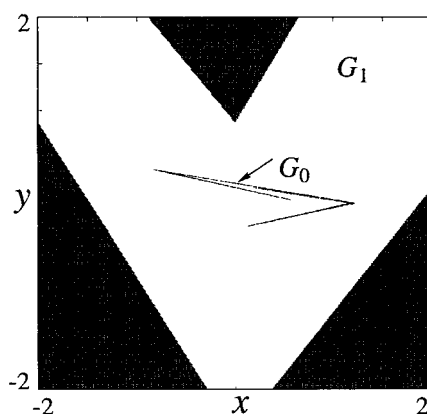


Рис. 1. Аттрактор Лози G_0 и бассейн его притяжения G_1 для $a=1,5$ при $b=0,3$

траектории из серой области имеют в качестве аттрактора бесконечность

Одним из важнейших свойств систем с детерминированным хаосом является перемешивание. Смысл перемешивания заключается в том, что любая малая окрестность исходного начального состояния системы эволюционирует через стадии сжимания по одним направлениям, растягивания по другим, стадии изгибания, складывания, и в итоге перемешивается по всей области, занятой траекторией [3].

Хаотические аттракторы, описанные выше, объединяют два принципиальных свойства: сложная геометрическая структура (как следствие — дробная метрическая размерность) и экспоненциальная неустойчивость индивидуальных траекторий. Однако хаотическое поведение в смысле перемешивания и геометрическая странность аттрактора могут не соответствовать друг другу. Существуют странные нехаотические аттракторы (СНА), которые демонстрируют

сложный непериодический режим колебаний, асимптотический устойчивый (без перемешивания), и при этом геометрическая структура аттрактора не является регулярной. Странные нехаотические аттракторы относятся к классу систем с квазипериодическим внешним воздействием [4]. Системы с квазипериодическим воздействием СНА типичны в области между порядком и хаосом.



Рис. 2. Аттрактор, реализующийся в системе Хенона, и структура бассейна его притяжения в фазовом пространстве (X_N, Y_N) при $b=0,3$ для $a=1,32$

3. Результаты и их обсуждение

Характерные кривые изменения возникающего тока представлены на рис. 3 и 4.

На кривых изменения тока видна сплошная зачерненная полоса. Ранее предполагалось, что это белый шум (приборная ошибка), однако позже эта точка зрения была пересмотрена. Электронная система регистрирует малейшие изменения величины тока и при этом имеет большую частоту опроса, что и приводит к фиксированию очень узких интервалов колебания тока, сливающихся на рисунке в черную полосу.

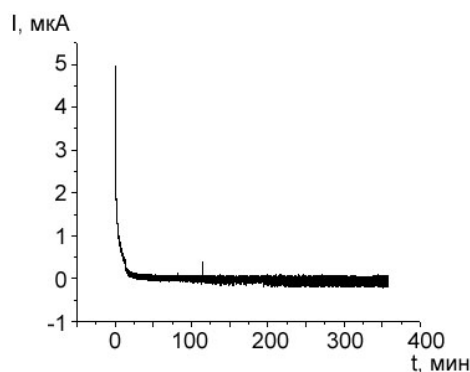


Рис. 3. Возникновение электротока самоорганизации в геле оксигидрата циркония, синтезированного при pH 8,00, $L=7$ см, $n = 0,00235$ моль, 286 К

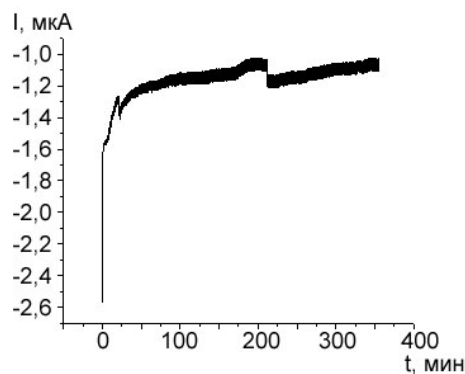


Рис. 4. Возникновение электротока самоорганизации в геле оксигидрата циркония, синтезированного при pH 8,00, $L=5$ см, $n = 0,00235$ моль, 286 К

Экспериментальные данные (значения тока) были обработаны в MATLAB 6.1 с помощью специально написанной математической программы. Работа программы заключается в следующем:

Вначале строится фазовая диаграмма измерений тока в координатах $A_{i+1}=f(A_i)$ (рис. 5,а). Затем вычисляется разность $A_{i+1}-A_i$ и строится ее фазовая диаграмма (рис. 5,б). Далее из всех значений разности отбрасываются те пики, для которых амплитуда отличается от среднего меньше чем на 3 среднеквадратичных отклонения (отфильтровываются). Значения параметров фильтра можно менять. И в результате выдается фазовая диаграмма фильтрованной разности (рис. 5,в).

График фазовой диаграммы разности значений тока (рис. 5,б) состоит из точек, образующихся в результате пересечения траектории в фазовом пространстве с некоторой плоскостью (сечением Пуанкаре) [3, 5]. Данные точки сечения Пуанкаре заполняют плоскость, образуя некоторые притягивающие множества (аттракторы) движения траектории в фазовом пространстве. Операция фильтрации позволяет увидеть эти аттракторы более четко.

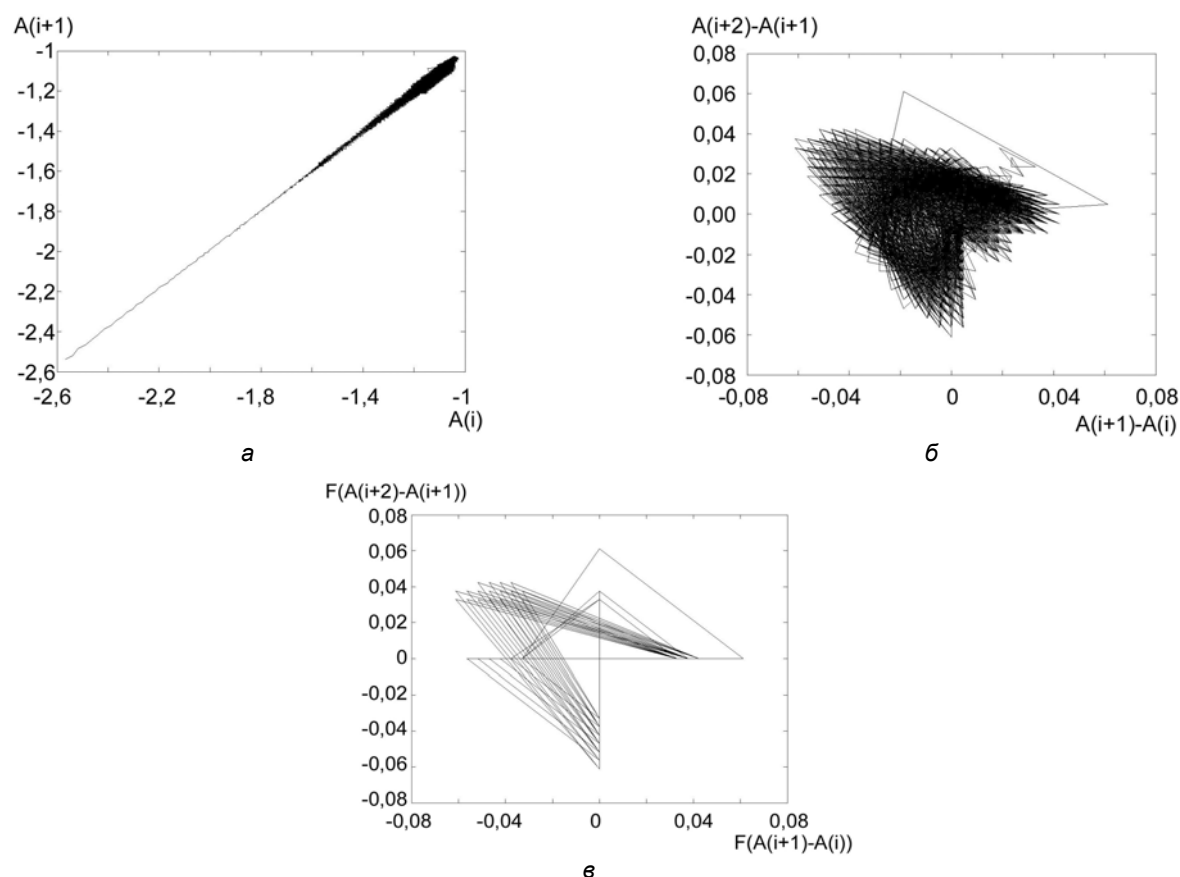


Рис. 5. Фазовые диаграммы измерений тока (а), представленных на рис. 4, нефильтованной разности значений тока (б) и фильтрованной разности значений тока (в)

Нельзя однозначно отнести экспериментально полученные аттракторы к теоретическим моделям представленным выше. Экспериментальные аттракторы намного сложнее, однако, видно, что в их основе лежат аттракторы Лози и Хенона, и, следовательно, их можно рассматривать как странные аттракторы, что в свою очередь, определяет гелевые оксигидратные системы, как хаотические.

Заключение

Экспериментально установлено существование аттракторов Лози.

Обнаружено подобие экспериментально полученных аттракторов фазовых диаграмм самопроизвольного возникновения тока и теоретических моделей странных аттракторов типа Лози — Хенона, то есть странных нехаотических аттракторов (СНА).

Тем самым, подтверждена хаотическая природа гелевых оксигидратных систем с определенным нехаотическим компонентом.

Работа выполнена по гранту Губернатора Челябинской области (проект урчел_04–03–96059).

Список литературы

1. Сухарев Ю.И., Юдина Е.П. Бифуркация удвоения периода пейсмекеров в гелевых оксигидратных системах // Изв. Челябинского науч. центра УрО РАН, 2004. № 2. С. 128—132.: www.csc.ac.ru/news.
2. Сухарев Ю.И., Сухарева И.Ю., Кострюкова А.М. Электропроводность самоорганизации оксигидратных гелей // Изв. Челябинского науч. центра УрО РАН, 2004. № 3. С. 81—85.: www.csc.ac.ru/news.
3. Анищенко В.С. Знакомство нелинейной динамикой: лекции соровского профессора: Учебн. пособие. Москва — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 232 с.
4. Bezruchko V.P., Kuznetsov S.P., Seleznev Y. P. Experimental observation of dynamics near the torus-doubling terminal critical point // Physical review, 2000. Vol. 62. № 6. P. 7828—7829.
5. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 450 с.