

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

**Существование различных типов перемежаемости в нелинейных
системах**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы
направления 03.03.03 - радиофизика
факультета нелинейных процессов
Золотаренко Алексея Васильевича

Научный руководитель
к.ф.-м.н., доцент

дата, подпись

О.И. Москаленко

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н., профессор

дата, подпись

А.А. Короновский

Саратов 2017 год

Введение

Изучение перемежающегося поведения всегда представляло значительный интерес для исследователей, связанный, в первую очередь, с тем, что это явление характерно для широкого класса систем и является фундаментальным. В этом и заключается **актуальность** моей работы. Многие известные исследователи обращались к проблеме изучения перемежаемости. Среди них можно выделить работы И. Помо, П. Манневиля, П. Берже, К. Видаль, Г. Шустера, С. Боккалетти, А.А. Короновского, О.И. Москаленко, А.Е. Храмова и др. Тем не менее, феномен перемежаемости основательно не изучен.

В данной работе были поставлены следующие **цели**:

- рассмотрение понятия перемежаемости и ее классификация;
- изучение возможности наблюдения «перемежаемости перемежаемостей» в нелинейных системах;
- поиск реальных нейрофизиологических систем, способных демонстрировать два типа перемежаемости одновременно.

Для достижения данной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

- изучить литературу о перемежаемости типов I, II, III;
- изучить литературу о «перемежаемости перемежаемостей»;
- построить модельные системы с дискретным временем, демонстрирующие явление «перемежаемости перемежаемостей»;
- продемонстрировать сосуществование двух различных типов перемежаемости в реальных нейрофизиологических системах.

Материалами исследования послужили научные работы, посвященные понятию перемежаемости, а также оригинальные численные исследования, проведенные в ходе выполнения бакалаврской работы. При этом под перемежаемостью понимался такой вид сигнала, в котором случайным образом чередуются длинные регулярные (ламинарные) фазы (так

называемые окна) и относительно короткие нерегулярные всплески (турбулентные фазы).

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введения, трех глав и заключения. Она содержит 27 страниц текста, включая 14 иллюстраций. Список литературы содержит 8 наименований.

Основное содержание работы

Во **Введении** обоснована актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы, сформулированы цели и задачи работы, представлено понятие перемежаемости.

В первой главе выпускной квалификационной работы рассмотрены три основных типа перемежаемости, предложенные Помо и Манневилем, кратко обозначена история открытия явления перемежаемости и ее основные характеристики.

Возникновение перемежаемости типа I ассоциируется с касательной бифуркацией и появлением «коридора» на месте исчезнувших после слияния устойчивой и неустойчивой точек (циклов). Если обеспечена реинжекция, т.е. через некоторое время траектория оказывается вновь на входе в «коридор», в системе возникает перемежаемость типа I. Перемежаемость типа III наблюдается, когда собственные значения матрицы Флоке пересекают единичную окружность в точке -1 и наблюдаемая бифуркация субкритическая, а поэтому нелинейные эффекты низшего порядка не стабилизируют траектории или последовательные итерации (для отображения) в окрестности прежнего аттрактора. Отличительной особенностью перемежаемости типа II является ситуация, когда два комплексно-сопряженных мультипликатора Флоке выходят из единичной окружности на комплексной плоскости, что влечет за собой потерю устойчивости периодической траектории.

Во второй главе была исследована возможность одновременного

существования двух различных типов перемежаемости на примере двух систем. Первая из них сконструирована из эталонных моделей дискретных отображений – двух связанных между собой отображений окружности:

$$x_{n+1} = x_n + 2\Omega(1 - \cos x_n) - \varepsilon, \text{mod}2\pi,$$

$$y_{n+1} = y_n + 2\Omega(1 - \cos y_n) - \gamma + k \cos^a / x_n^3, \text{mod}2\pi \quad (1)$$

где $\varepsilon, \gamma, \Omega, a, k$ - управляющие параметры. Связь между отображениями окружности реализуется посредством слагаемого $k \cos^a / x_n^3$, добавленного во второе уравнение системы (1). Для одновременного наблюдения двух типов перемежаемости была введена в рассмотрение новая переменная z_n , которая определяется следующим образом:

$$z_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \quad (2)$$

Была построена временная реализация переменной z_n , представленная на рисунке 1.

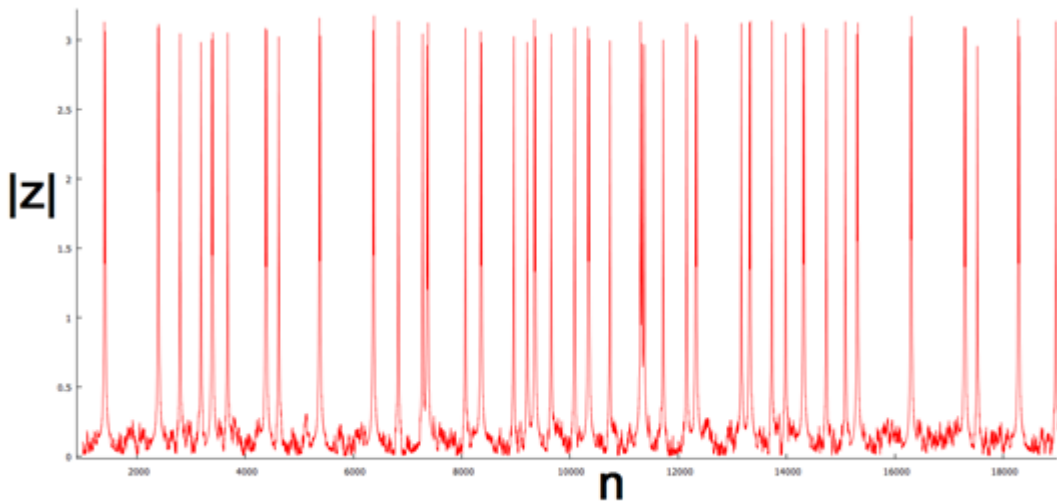


Рисунок 1 – Временная реализация $|z|(n)$ для системы (1)-(2)

Вторая система с дискретным временем, демонстрирующая одновременное существование двух перемежаемостей типа «on-off», сконструирована из двух логистических отображений:

$$v = bv(1 - v)$$

$$y = axu(1 - y) \quad (3)$$

где a, u, b, v – управляющие параметры в данной системе, а параметры z и x – случайные величины. Для того, чтобы одновременно наблюдать в исследуемой системе (4) два типа перемежаемости, была введена в рассмотрение новая переменная q_n , которая определяется следующим образом:

$$q_n = \sqrt{v_n^2 + y_n^2} \quad (4)$$

Была построена временная реализация переменной q_n , представленная на рисунке 2.

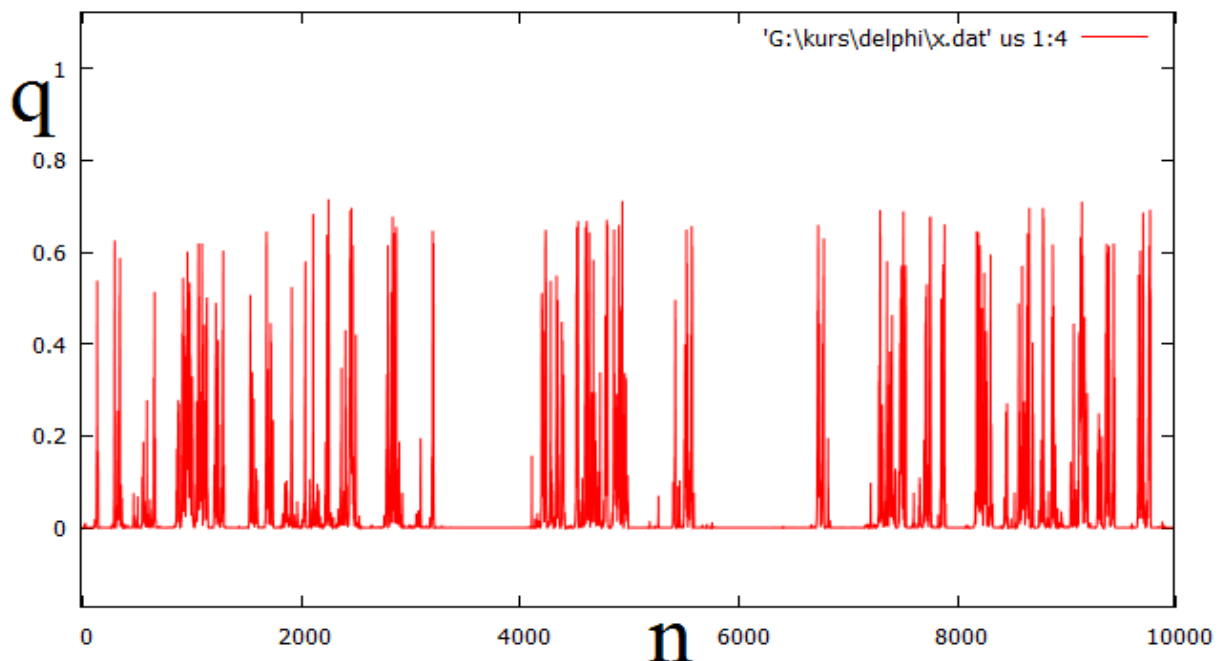


Рисунок 2 – Временная реализация $|q|(n)$ для системы (1)-(2)

В третьей главе была исследована возможность одновременного существования двух различных типов перемежаемости в реальных нейрофизиологических системах. Одним из способов наблюдения одновременного существования двух различных типов перемежаемости в реальных нейрофизиологических системах является электроэнцефалограмма головного мозга. Экспериментальная запись электроэнцефалограммы проводилась для крыс линии WAG/Rij специалистами в Институте высшей

нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (Москва) и NICI-Biological Psychology, Radboud University Nijmegen (Неймеген, Нидерланды). Регистрация электроэнцефалограммы проводилась с использованием вживления электродов в лобную и затылочную области коры головного мозга, а также ретикулярное и специфическое ядра таламуса. На рисунке 3 представлена запись электроэнцефалограммы лобной доли коры головного мозга, т.к. на ней более характерно выражены все осцилляторные паттерны, хотя на всех записях электроэнцефалограммы они также наблюдаются.

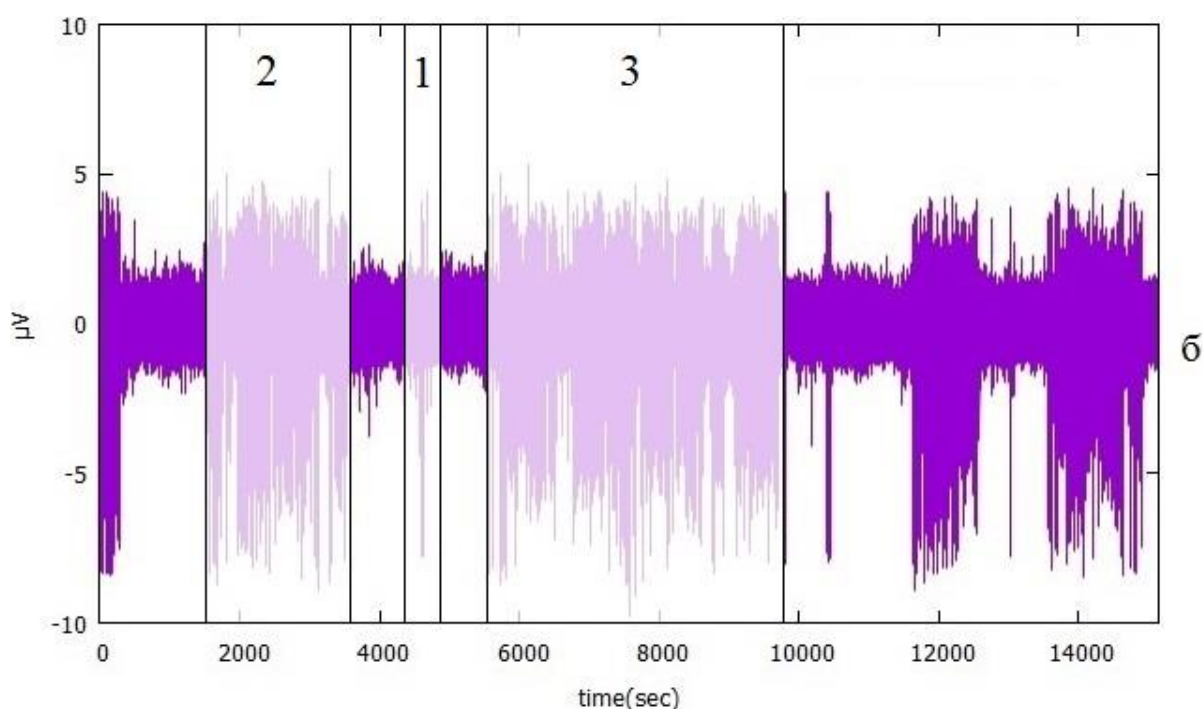


Рисунок 3 - Запись электроэнцефалограммы лобной доли коры головного мозга

На рисунке 3 цифрой 1 обозначены сонные веретена, цифрой 2 - 5-9 Гц колебания и цифрой 3 - пик-волновые разряды. Было выявлено, что в данной записи электроэнцефалограммы наблюдаются два сменяющих друг друга вида перемежаемости, так называемая «перемежаемость перемежаемостей». В данном случае это два вида “on-off” перемежаемости, между которыми во временной реализации наблюдаются “переключения”.

В заключении были обобщены сведения, представленные в основной

части работы, сделаны соответствующие выводы и подведены итоги выполнения работы в целом.

Заключение

В выпускной квалификационной работе мною было рассмотрено понятие перемежаемости и классификация данного явления, предложенная Помо и Манневилем, а также возможность одновременного существования различных типов перемежающегося поведения в нелинейных системах при фиксированных значениях управляющих параметров. Для этого была изучена известная научная литература по данной теме, история открытия перемежающегося поведения и его основные характеристики, построены временные реализации систем, демонстрирующих два вида перемежаемости одновременно. Показано, что при изменении значения одного из управляющих параметров динамика системы менялась значительно: в определенном диапазоне значений этого параметра наблюдалось существование только одного из этих типов перемежаемости.

Показана возможность одновременного наблюдения двух типов перемежаемости в реальных нейрофизиологических системах. Для этого был сделан обзор эксперимента, проведенного в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН в Москве и NICI-Biological Psychology, Radboud University Nijmegen (Неймеген, Нидерланды) над крысами линии WAG/Rij, и проведена обработка экспериментальных записей электроэнцефалограмм, которые получались путем вживления электродов в лобную, и затылочную части коры головного мозга и специфическое и ретикулярное ядра таламуса головного мозга крыс линии WAG/Rij. Установлено, что в данной модели возможно одновременное существование двух перемежаемостей типа “on-off”.

Список литературы

- [1] Шустер Г. Детерминированный хаос. Пер. с англ. М.: Мир, 1988.
- [2] Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. М.: Мир, 1991.
- [3] Manneville P., Pomeau Y. Different ways to turbulence in dissipative dynamical systems // Physica. 1980. №1. P. 219-226.
- [4] Dubois M., Rubio M. A., and Berge P. (1983) Experimental evidence of intermittencies associated with a subharmonic bifurcation, Phys. Rev. Lett. 51, 1446-9; Erratum 51, 2345.
- [5] Koronovskii A.A., Hramov A.E., Grubov V.V., Moskalenko O.I., Sitnikova E.Yu., Pavlov A.N. Coexistence of intermittencies in the neuronal network of the epileptic brain. Phys. Rev. E. 93, (2016) 032220.
- [6] Москаленко О.И., Короновский А.А., Журавлев М.О., Храмов А.Е. Модельная система с дискретным временем, демонстрирующая «перемежаемость перемежаемостей». Письма в ЖТФ. 41, 1 (2015) 36-42.
- [7] Heagy J.F., Platt N., Hammel S.M. Characterization of on-off intermittency. Phys. Rev. E. 49 (2) (1994) 1140-1150.
- [8] Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Yu. Wavelets in Neuroscience. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 2015. 318 p.