

# Изучение кросс-корреляций в сложных системах<sup>1</sup>

*Панищев Олег Юрьевич<sup>2</sup>*

*аспирант*

*Татарский государственный гуманитарно-педагогический университет, физический факультет, Казань, Россия*

*E-mail: oleg@theory.kazan-spu.ru*

## **Введение**

Реальные системы являются одним из наиболее сложных объектов изучения для современной статистической физики. Прежде всего, это объясняется тем, что такие системы включают в себя большое число взаимодействующих компонентов и имеют огромное число степеней свободы. Помимо этого, природные объекты являются открытыми диссипативными системами, которые взаимодействуют с внешней средой, обмениваются с ней веществом, энергией и информацией. В связи с этим поведение таких систем характеризуется нелинейностью, нестационарностью и неравновесностью. Исследование эволюции сложной системы, как правило, осуществляется на основе комплексного анализа динамики какого-либо сигнала, продуцируемого такой системой.

Однако существует особый класс сложных систем, изучить которые, анализируя динамику лишь одного параметра, крайне затруднительно или вообще невозможно. Эта трудность обусловлена тем, что подобная система состоит из отдельных специализированных подсистем, каждая из которых продуцирует собственный сигнал и находится во взаимодействии с остальными. Такие проблемы возникают также, когда значение изучаемой случайной величины зависит от большого числа внешних факторов, имеющих в свою очередь случайный характер. В решении таких задач используются методы кросс- и мульти-корреляционного анализа.

## **Методы**

В работе предложен новый метод анализа и описания кросс-корреляций в сложных дискретных системах, разработанный на основе теории дискретных немарковских случайных процессов. Данная теория оказалась полезной при исследовании поведения сложных систем в области биологии [1], физики [2], сейсмологии [3] и медицины [4–6]. Получаемые в рамках статистической теории количественные показатели и качественные критерии позволяют эффективно описывать стохастическую динамику исследуемого процесса и получать детальную информацию о скрытых коллективных закономерностях изучаемого явления.

Суть предложенного метода заключается в следующем. При помощи техники проекционных операторов Цванцига-Мори [7, 8] осуществляется последовательное построение временной кросс-корреляционной функции (ККФ), кросс-корреляционных функций памяти старшего порядка, ортогональных динамических переменных, частотной зависимости параметра немарковости.

В работе выполнен анализ перекрестных корреляций, проявляющихся в динамике вызванных потенциалов магнитоэлектрической активности височной и затылочной областей коры головного мозга здоровых людей (группа из 9 человек) и пациента с фоточувствительной эпилепсией. Фоточувствительная эпилепсия представляет собой разновидность эпилепсии, при которой эпилептические приступы провоцируются ритмическими световыми вспышками. Регистрация исходных сигналов осуществлялась посредством SQUID-сенсоров, расположенных на поверхности головы. Нейромагнитные отклики были вызваны при помощи красно-голубого зрительного мерцающего стимула [9, 10].

## **Результаты**

Проведенный анализ вычисляемых параметров позволил выявить резкие различия в динамических, спектральных и релаксационных характеристиках, определяющих

<sup>1</sup> Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проводимых в рамках гранта Федерального агентства по образованию Министерства образования и науки РФ (грант № РНП.2.1.1.741) и гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 05-02-16639-а).

<sup>2</sup> Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. Юльметьеву Р.М. и н.с. Дёмину С.А. за помощь в подготовке тезисов.

динамику сигналов мозга здоровых людей и пациента с фоточувствительной эпилепсией. В частности, поведение спектров мощности исходной ККФ и функций памяти младшего порядка отражает появление в функционировании мозга при фоточувствительной эпилепсии дополнительных периодических и квазипериодических процессов. Данные процессы, возможно, являются причиной аномальной коллективной активности нейронов, т.е. возникновения эпилептического приступа. В целом в динамике нейромагнитных откликов, продуцируемых рассмотренными областями коры головного мозга, обнаруживается более высокая степень коррелированности для здоровых людей, по сравнению с больным человеком. Кроме того, в динамике нейромагнитных откликов данных участков коры головного мозга ярко проявляются марковские эффекты у здоровых людей и сильные немарковские эффекты у пациента с фоточувствительной эпилепсией.

### **Заключение**

Полученные результаты указывают на высокую информативность вычисленных характеристик и параметров, используемых для описания кросс-корреляций в дискретных живых системах. Использование методов статистической физики открывает принципиально новые возможности в понимании особенностей и закономерностей функционирования головного мозга человека.

### **Литература**

1. Goychuk, I., Hänggi, P. (2003) Non-Markovian stochastic resonance // *Phys. Rev. Lett.*, № 91, p. 070601-1–4.
2. Yulmetyev, R., Mokshin, A., Scopigno, M., Hänggi, P. (2003) New evidence for the idea of timescale invariance of relaxation processes in simple liquids: the case of molten sodium // *J. Phys.: Condens. Matter*, №. 15, p. 2235–2257.
3. Yulmetyev, R., Gafarov, F., Hänggi, P., Nigmatullin, R., Kayumov, S. (2001) Possibility between earthquake and explosion seismogram differentiation by discrete stochastic non-Markov processes and local Hurst exponent analysis // *Phys. Rev. E*, №. 64, p. 066132-1–14.
4. Yulmetyev, R., Hänggi, P., Gafarov, F. (2000) Stochastic dynamics of time correlation in complex systems with discrete current time // *Phys. Rev. E*, №. 62, p. 6178–6194.
5. Yulmetyev, R.M., Demin, S.A., Panishev, O.Yu., Hänggi, P. (2005) Age-related alterations of relaxation processes and non-Markov effects in stochastic dynamics of R-R intervals variability from human ECGs // *Physica A*, №. 353, p. 336–352.
6. Yulmetyev, R.M., Demin, S.A., Panishev, O.Yu., Hänggi, P., Timashev, S.F., Vstovsky, G.V. (2006) Regular and stochastic behavior of Parkinsonian pathological tremor signals // *Physica A*, №. 369, p. 655–678.
7. Zwanzig, R. (1961) Memory effects in irreversible thermodynamics. // *Phys. Rev.*, № 124, p. 983-992.
8. Mori, H. (1965) A continued fraction representation in the time correlation functions. // *Prog. Theor. Phys.*, №. 34, p. 399-416.
9. Watanabe, K., Imada, T., Nihei, K., Shimojo, S. (2002) Neuromagnetic responses to chromatic flicker: Implications for photosensitivity // *Neuroreport*, № 13, p. 2161–2165.
10. Bhattacharya, J., Watanabe, K., Shimojo, Sh. (2004) Nonlinear dynamics of evoked neuromagnetic responses signifies potential defensive mechanisms against photosensitivity // *Int. J. Bif. Chaos*, №. 14, p. 2701–2720.