

Масштабируемость радиотехнической модели таламо-кортикальной сети мозга*

*С. Н. Мельникова¹✉, Н. М. Егоров^{1,2}, В. И. Пономаренко^{2,3},
И. В. Сысоев^{2,3}, М. В. Сысоева^{1,2}*

¹Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

³Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

✉ sonya7083@gmail.com

Традиционно изучение процессов в биосистемах разделено на несколько этапов: первичное наблюдение, эксперимент, съём и анализ экспериментальных данных, синтез математических моделей. Для пик-волновых разрядов (проявление приступов абсансной эпилепсии на электроэнцефалограммах) эти этапы в основном пройдены к настоящему времени [1,2]. Построение моделей в виде радиотехнических схем представляет собой следующий важный этап на пути апробации соображений и выводов, заложенных в ранее построенные математические модели. В первую очередь, таким образом можно проверить грубость модельных представлений: не является ли модельное поведение «хрупким», существующим только в малой, почти вырожденной, недоступной в эксперименте области параметров, устойчиво ли оно к шумам, неидентичности и неидеальности элементов. Радиотехнические модели неоднократно использовались ранее для моделирования биологических объектов различной природы, в том числе отдельных нейронов и нейронных сетей.

Наша цель – показать, что реализованные в данной работе радиотехнические модели в виде ансамблей генераторов с нейроподобным поведением обладают общностью механизмов генерации эпилептиформной активности вне зависимости от числа элементов, конкретной архитектуры связей или фазы внешнего воздействия на момент его начала. В работе предлагается подход к разработке моделей таламо-кортикальной сети головного мозга в виде радиотехнической схемы, реализованной на базе программного обеспечения National Instruments Multisim. В качестве отдельного элемента сети используются упрощённые осцилляторы ФитцХью–Нагумо.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-72-10030).

В первую очередь была проверена масштабируемость предложенной системы, т. е. способность системы при увеличении количества элементов демонстрировать нужное поведение — генерировать эпилептические разряды. В ансамблях из 14, 28 и 56 осцилляторов ФитцХью–Нагумо было продемонстрировано качественно сходное поведение. Было проанализировано изменение длительности переходного процесса в модели в зависимости от фазы внешнего воздействия и от конкретной реализации матрицы связей. Видно, что чем больше элементов содержит матрица, тем дольше длится переходной процесс после окончания воздействия, это поведение имеет место не для всякой матрицы или реализации, а в среднем по ансамблю реализаций, полученных при различных начальных условиях и матрицах связи. Математически, с точки зрения топологии фазового пространства, это может быть объяснено тем, что в пространстве большей размерности больше возможностей (в некотором смысле, больше «места») для существования сгущения фазовых траекторий. Поскольку матрицы и режимы выбираются нами до некоторой степени случайно (провести систематическое полное исследование столь высокоразмерных многопараметрических систем не представляется возможным), очевидно, что с увеличением числа таких безаттракторных режимов возрастает и вероятность их нахождения. Физически рост длины переходных процессов с увеличением размерности системы может быть объяснён тем, что в больших системах за время воздействия возможно накопление большей энергии, которая затем расходуется на остаточные колебания. В работе было показано, что предложенные радиотехнические модели таламокортикальной сети мозга устойчиво воспроизводят патологические режимы функционирования мозга качественно сходным образом при вариации числа элементов сети, структуры связей и начальной фазы внешнего воздействия.

Список литературы

1. *Sysoeva M., Lüttjohann A., van Luijtelaaar G., Sysoev I.* Dynamics of directional coupling underlying spikewave discharges // *Neuroscience*. 2016. Vol. 314. P. 75–89.
DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.11.044
2. *Sysoeva M., Vinogradova L., Kuznetsova G., Sysoev I., van Rijn C.* Changes in corticocortical and corticohippocampal network during absence seizures in WAG/Rij rats revealed with time varying Granger causality // *Epilepsy and Behavior*. 2016. Vol. 64. P. 44–50. DOI: 10.1016/j.yebeh.2016.08.009