ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ТАЛАМОКОРТИКАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ

А. В. Колосов¹, И. В. Нуйдель², В. Г. Яхно^{1,2}

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Россия, 603950 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

²Институт прикладной физики РАН
Россия, 603950 Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46
E-mail: 7418880@mail.ru; nira_appl@mail.ru; yakhno@appl.sci-nnov.ru

В работе рассматривается математическая модель элементарной ячейки таламокортикальной сети и характерные для нее динамические режимы, описывающие взаимодействие таламуса, ретикулярных ядер таламуса и коры.

В таламокортикальной системе при нормальной обработке информации происходит стробирование входного сигнала во времени. Нарушение нормального функционирования приводит к эпилепсии, когда восприятие информации нарушается. Рассмотрение данной системы приведет к пониманию закономерностей нарушения восприятия человека, чему соответствуют автоколебания в таламокортикальной сети.

Сосредоточенная математическая модель описывается системой трех дифференциальных уравнений. Для данной системы строится трехмерное фазовое пространство, позволяющее отслеживать изменения «состояний равновесия» системы при изменениях параметров.

Анализ такой системы впервые производится с использованием трехмерного фазового пространства; рассматривается поведение траекторий изображающих точек, и становится наглядным изображение состояний равновесия системы. Из-за большого количества параметров системы построение такого пространства даёт возможность предсказывать развитие системы в последующие моменты времени при любых параметрах.

Проведена классификация динамических режимов в системе (невозбужденный, возбужденный и автоколебания) в зависимости от величины постоянного внешнего сигнала, поступающего на таламус. Показано, что отклик системы состоит из первого импульса и следующих за ним импульсов автоколебаний, период которых отличается от длительности первого импульса. Исследована зависимость характерных времен первого импульсного отклика и периода автоколебаний от величины внешнего сигнала.

Численный анализ модели показал существование U -образной зависимости длительности первого импульса и уменьшение периода автоколебаний в ответ на увеличение значений внешнего сигнала. Полученные результаты важны для дальнейшего рассмотрения правдоподобности гипотезы, в соответствии с которой таламокортикальные сети управляют активностью участков коры мозга и ориентированы (в норме) на интеграцию полученных на них результатов для принятия решений на более высоких уровнях нейросетевой обработки в мозговых структурах.

Ключевые слова: Нейроподобные сети, автоколебания, релаксационные колебания, эпилепсия, тормозная связь, возбуждающая связь, стробирование сигнала, сенсорный сигнал.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-5-72-83

Ссылка на статью: Колосов А.В., Нуйдель И.В., Яхно В.Г. Исследование динамических режимов в математической модели элементарной таламокортикальной ячейки // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2016. Т. 24, № 5. С. 72–83.

Введение

По данным литературы, схемам организации различных систем мозга и данным о динамике преобразования сигналов известны примеры, когда поступающие в мозг сенсорные сигналы проходят через одинаковым образом организованные нейрональные модули. Такие одинаковые схемы обработки были обнаружены, например, в таламокортикальной системе [1–2], системе «таламус – базальные ганглии» [3–4], мозжечке [5], гиппокампе [6–7]. В большинстве таких нейрональных модулей архитектура связей основана как минимум на трех связанных структурах, в которых восходящие связи для сенсорных сигналов возбуждающие, обратные, управляющие, тормозные. Предполагается, что такая архитектура необходима для обеспечения механизма прерывания сенсорного сигнала, при этом в активной фазе происходит обработка сенсорного сигнала, а в период «неактивности» в стробе происходит передача результатов трансформации на более высокий уровень обработки [1, 8–11].

В целом процесс обработки информации (например, изображений) в коре головного мозга непрерывен и проявляется, с одной стороны, в эволюции структур пространственной активности нейронов коры. С другой стороны, прерывание процесса первичной обработки сенсорного сигнала может быть использовано как для выделения дополнительных признаков из сигнала, так и для синхронизации получаемых результатов в различных обрабатывающих модулях.

Выдвинутая в работах R. Hecht-Nielsen [1] гипотеза о прерывании входного сенсорного сигнала кажется нам вполне правдоподобной, так как во временные интервалы, когда входной сигнал не проходит в кору, сигналы могут передаваться для последующей обработки (например, формирования ассоциативных связей) и распознавания из зон первичной обработки (например, зрительная кора для зрительных сигналов) в высшие корковые структуры. В то же время, однозначного объяснения функциональной роли такой прерывистой обработки пока нет, поэтому необходимы модельные расчеты и проверка различных правдоподобных гипотез.

В экспериментальных нейрофизиологических исследованиях выявлено, что взаимосвязанные нейрональные модули: кора, ретикулярные ядра таламуса, специфический таламус играют важную роль в процессах обработки информации.

В работах R. Hecht-Nielsen [1] механизм периодического прерывания входного сенсорного сигнала также связывается с этими структурами мозга.

В таламокортикальной системе в режиме нормальной обработки информации происходит стробирование входного сигнала во времени. В работах Шевелева [8] было высказано предположение, что сигнал с таламуса приходит в разные участки коры (отвечающие за выделение разных признаков) со сдвигом фазы, вызванным временной задержкой. Этот сдвиг фазы обуславливает асинхронную работу в клетках коры в процессе обработки информации в норме.

Нарушение этого нормального функционирования в реальности проявляется в различных формах эпилепсии с разной этиологией или органическими изменениями в мозгу, когда процесс восприятия информации нарушается. Нервный субстрат остаётся неизменным, но система переходит в режим автоколебаний, чем обусловлено нарушение процесса восприятия. У человека известно несколько видов эпилепсии,

в частности неконвульсивная абсансная эпилепсия, в основе которых лежит пароксизмальная ритмическая активность таламокортикальной цепи нейронов. Пароксизмальная активность нейронов обуславливается синхронизацией электрической активности нейронных ансамблей в различных модулях и отражается на электроэнцефалограмме повышением частоты и амплитуды колебаний. Для неё характерно возникновение в коре и подкорковых структурах пик-волновых разрядов широко генерализованной спонтанной высокоамплитудной активности [2, 11].

Нейрофизиологический механизм возникновения разрядов «пик-волна» абсансной эпилепсии достаточно подробно изучен на животных. Пик-волновые разряды у человека «устроены» так же, как у животных. Показано, что этот вид пароксизмальной синхронизированной ритмической активности связан с возникновением возбуждения в нейрональной цепи: кора – ретикулярные ядра таламуса – специфический таламус.

Именно поэтому рассмотрение динамики формирования двумерных картин активности, выявление качественных особенностей обработки сенсорных сигналов в нормальных режимах и условий нарушения нормальных режимов представляются очень важными при моделировании и интерпретации различных функциональных режимов, реализуемых в таламокортикальной системе [12–13]. Поэтому функциональные модели таких систем следует отнести к классу базовых моделей, описывающих преобразование сенсорных сигналов, и для них важно изучать универсальные закономерности в динамических режимах обработки информационных сигналов.

Моделирование процессов прохождения входного сигнала через нейронные ансамбли таламокортикальной системы показало, что на нейронных ансамблях коры формируется прерывистое, стробированное представление исходного сигнала [10–13]. При этом за время стробов активности происходит обработка сигнала, например, выделение простейших признаков из исходного сигнала (изображения) с целью передачи результатов в высшие корковые структуры для последующей обработки и анализа.

Основной задачей данной работы является классификация динамических режимов на упрощенной, сосредоточенной системе и выяснение условий, когда активация постоянным внешним сигналом переходит в прерывистый режим. Предполагается, что режим стробирования разных участков коры мозга необходим для согласованного управления результатами обработки информационных сигналов и передачи их на более высокие уровни принятия решений и управления.

Модель

Рассматриваемая модель взята из результатов работ [9–14] по исследованию функциональных операций, выполняемых нейрональными модулями при обработке информации в таламокортикальной системе.

Структурная схема таламокортикальной ячейки представлена на рис. 1. Подсистема-модуль, соответствующая коре, состоит из ансамблей пирамидальных (возбуждающих) нейронов и тормозных интернейронов коры. Подсистема-модуль,

соответствующая специфическим таламическим ядрам, состоит из ансамблей возбуждающих нейронов. Подсистема-модуль, соответствующая ретикулярному ядру таламуса, состоит из нейронов с тормозящими связями. Известно, что таламокортикальные ячейки связаны между собой через ансамбли нейронов коры головного мозга.

Модель любого ансамбля – это модель однородной распределенной среды, которая записывается в виде интегродифференциальных уравнений [9–18]. В таких уравнениях рассматриваются балансные соотношения для изменений уровней активационных процессов в аксонных, дендритных деревьях и в телах нейронов с помощью усредненных переменных для популяции нейронов в выделенном объеме.

Усреднение проводится на длинах порядка 0.1 мм, много меньших, чем характерные размеры нейронного ансамбля (до нескольких сантиметров), но значительно превышающих размеры тела отдельных нейронов (~ 0.01 мм). Последовательные этапы вывода балансных уравнений приведены, например, в [14, 10].

Расчеты, проведенные на модели, иллюстрируют различные режимы преобразования зрительной информации в системе «зрительная кора – таламус – ретикулярные ядра таламуса», связанные с предварительной обработкой входных изображений и режимами их стробирования во времени [8–18].

Данное рассмотрение в первую очередь ориентировано на исследование преобразования сигналов в сосредоточенной модели таламокортикальной ячейки.

Сосредоточенная математическая модель ячейки, соответствующая схеме на рис. 1, описывается системой дифференциальных уравнений (ДУ)

$$\frac{dU_1}{dt} = -\frac{U_1}{\tau_1} + k_1 F_1 [-T_1 + k_{ex} U_{ex} - k_{13} U_3], \quad (1)$$

$$\frac{dU_2}{dt} = -\frac{U_2}{\tau_2} + k_2 F_2 [-T_2 + k_{21} U_1 + k_{22} U_2], \quad (2)$$

$$\frac{dU_3}{dt} = -\frac{U_3}{\tau_3} + k_3 F_3 [-T_3 + k_{32} U_2], \quad (3)$$

где U_1 , U_2 , U_3 – усредненная активность нейронов выбранных участков таламуса, коры и ретикулярных ядер таламуса, соответственно; τ_i – характерные времена затухания активности в соответствующих нейронных ансамблях; k_i – амплитуды генерации импульсной активности соответствующими нейронными ансамблями; T_i – усредненные величины для порогов возбуждения соответствующих нейронных ан-

Рис. 1. Схема функциональных связей между основными нейроноподобными подсистемами в таламокортикальной ячейке

самблей; U_{ex} – входной сигнал, поступающий на таламус; k_{ij} – коэффициенты взаимной связи между подсистемами в таламокортикальной ячейке; k_{ex} – коэффициент, регулирующий силу воздействия внешнего сигнала на таламус; $F_i[\cdot]$ – ступенчато-образные функции, крутизна которых характеризует разброс величин порогов около усредненных значений в рассматриваемом ансамбле, в квадратных скобках – аналог постсинаптического потенциала (ПСП) на мембранах соответствующих ансамблей нейронов [14, 10].

Динамика системы

Численный анализ системы (1)–(3) производился в пакете Wolfram Mathematica. В ходе численного решения рассматриваемой системы дифференциальных уравнений (1)–(3) проверялась зависимости длительности импульсных откликов от

Рис. 2. Зависимость длительности первого импульса и периода следующих за ним автоколебаний от постоянной величины внешнего сигнала. Расчеты проводились для следующих параметров системы: $\tau_1 = 10$; $\tau_2 = 100$; $\tau_3 = 1000$; $k_1 = 0.1$; $k_2 = 0.01$; $k_3 = 0.001$; $k_{ex} = 0.001$; $k_{13} = 1$; $k_{21} = 1$; $k_{32} = 1$; $k_{22} = 1$; $T_1 = 0$; $T_2 = 1$; $T_3 = 0.5$

Рис. 3. Пример отклика системы, когда при малом входном сигнале отклик U_2 системы стремится к нулю

величины входного сигнала (при этом все остальные параметры: τ_i , k_i , T_i , k_{ij} фиксировались). Ранее попытка исследования подобной системы проводилась в работе [19].

В данной работе показана справедливость ранее полученной зависимости только для величины первого импульса, в то время как период следующих за ним импульсов имеет иную зависимость от величины внешнего сигнала. Эту вновь обнаруженную особенность отклика системы необходимо учитывать при дальнейшем анализе режимов взаимодействия нескольких таких ячеек. Пример двух таких зависимостей, длительности первого импульса и периода следующих за ним автоколебаний, приведен на рис. 2.

В случае входного сигнала постоянной величины при заданных параметрах ячейка может находиться в следующих функциональных состояниях.

- Невозбужденный режим (или режим ожидания) при малом входном сигнале, когда его величина меньше T_1/k_{ex} (рис. 3).
- Режим генерации колебаний при промежуточных значениях величины входного сигнала. Из графика на рис. 4 видно, что длительность первого импульса отличается от периода следую-

щих за ним автоколебаний.

- Возбужденный режим («триггерный» или «насыщение») при большом входном сигнале (рис. 5)

Для возможностей более подробного исследования и наглядной демонстрации реализуемых режимов в системе было построено трехмерное фазовое пространство (при условии, что $F_i[] = 0$, если ПСП < 0 и $F_i[] = 1$, если ПСП > 0). Уравнения для плоскостей нуль-изоклин были взяты из системы дифференциальных уравнений (1)–(3):

$$-T_1 + k_{ex}U_{ex} - k_{12}U_2 = 0, \quad (4)$$

$$-T_2 + k_{21}U_1 + k_{22}U_2 = 0, \quad (5)$$

$$-T_3 + k_{32}U_2 = 0, \quad (6)$$

$$-U_i/\tau_i + k_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (7)$$

$$U_i = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Из нормировки ($k_i, \tau_i = 1$) и из соотношений (7) следует:

$$U_i = 1, \quad i = 1, 2, 3. \quad (9)$$

Итого мы получили девять плоскостей нуль-изоклин: (4), (5), (6), (8), (9). Шесть из них закреплены (изменения параметров системы не приведут к их перемещению): (8) и (9). Назовем их «гранями куба» в трехмерном фазовом пространстве, так как именно в этом кубе происходит вся динамика системы (изменяются от 0 до 1). Три плоскости (4), (5) и (6) можно параллельно переносить и вращать, задавая различные значения параметров: $T_i, k_{ex}, U_{ex}, k_{ij}; i, j = 1, 2, 3, \dots$. Режимы системы (невозбужденный, возбужденный и автоколебания) полностью определяются взаимным пересечением плоскостей нуль-изоклин.

Наиболее интересный случай, автоколебания; очевидно, что в двумерном случае на фазовой плоскости им соответствует выход системы на устойчивый предельный цикл. Было продемонстрировано, что подобный предельный цикл имеет место и в трехмерном фазовом пространстве. Так как данная работа в значительной степени основана на эвристическом подходе, можно с уверенностью сказать, что предельный цикл возможен тогда, когда все три плоскости (4), (5) и (6) пересекаются и их пересечение лежит внутри «куба».

Состояния рассматриваемой системы проиллюстрированы далее.

Итак, рассмотрим примеры расположения плоскостей нуль-изоклин, траектории изображающих точек и соответствующие им осциллограммы колебаний в системе. Для наглядности плоскости нуль-изоклин сделаны полупрозрачными, черным

Рис. 4. Пример отклика системы с последующей генерацией колебаний U_2 при значении входного сигнала $U_{ex} = 0.5$

Рис. 5. Пример отклика системы с последующим переходом к максимальной величине U_2 при большом входном сигнале

цветом выделена траектория изображающей точки с нулевыми начальными условиями, для данной траектории приведены соответствующие зависимости активности переменных U_1 , U_2 , U_3 от времени. Полученные результаты приведены на рис. 6, рис. 7, рис. 8.

Рис. 6. Режим насыщения: a – фазовое пространство; b – осциллограмма

Рис. 7. Режим автоколебаний: a – фазовое пространство; b – осциллограмма

Рис. 8. Невозбужденный режим: a – фазовое пространство; b – осциллограмма

Заключение

Численный анализ сосредоточенной модели таламокортикальной ячейки показал существование U -образной зависимости длительности первого импульса и постепенное уменьшение периода автоколебаний в ответ на увеличение значений внешнего сигнала.

Для анализа режимов в системе использовалось также трехмерное фазовое пространство с соответствующим расположением в нем плоскостей нуль-изоклин и демонстрацией траекторий движения изображающих точек, связанных с возможными импульсными откликами системы.

Полученные на исследованной модели результаты важны для дальнейшего рассмотрения правдоподобности гипотезы, в соответствии с которой таламокортикальные сети управляют активностью участков коры мозга и ориентированы (в норме) на интеграцию полученных на них результатов для принятия решений на более высоких уровнях нейросетевой обработки в мозговых структурах [20]. Для движения по этому пути планируется провести рассмотрение возможных динамических режимов отклика на нестационарный входной сигнал, а также анализ режимов в системах из двух или нескольких взаимодействующих элементарных ячеек, связанных через переменную U_2 (кора), и рассмотреть варианты режимов синхронизации в такой системе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН: проект № 0035-2014-0008.

Библиографический список

1. *Hecht-Nielsen R.* A theory of the cerebral cortex // Proceedings of the 6th International Conference on Molecular Electronics and Biocomputing, Future Electronic Devices Association of Japan, Okinawa, 28–30 November 1995.
2. *Coulter D.A.* Thalamocortical Anatomy and Physiology, Epilepsy: A Comprehensive Textbook // J. Engel (ed.), Jr. and T.A. Pedley, Liippincott Raven Publisher: Philadelphia, 1997. 341 p.
3. *Haber S.N., Calzavara R.* The cortico-basal ganglia integrative network: The role of the thalamus // Brain Research Bulletin. 2009. Vol. 78. P. 69–74.
4. *Силькис И.Г.* Вклад синаптической пластичности в базальных ганглиях в обработку зрительной информации (гипотетический механизм) // Журнал высшей нервной деятельности. 2006. Т. 56. № 6.
5. Физиология человека / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. Учебник, 2-е изд., перераб. и доп. М.: 2003, 656 с.
6. *Виноградова О.С.* Гиппокамп и память. М: Наука, 1975.
7. *Борисюк Р.* Моделирование гиппокампального тета-ритма // Журнал высшей нервной деятельности. 2004. Т. 54, № 1. С. 85–100.
8. *Шевелёв И.А.* Волновые процессы в зрительной коре мозга // Природа. 2001. № 12. http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/12_01/ALPHA.HTM
9. *Яхно В.Г., Беллюстин Н.С., Красильникова И.Г., Кузнецов С.О., Нуйдель И.В.,*

Панфилов А.И., Перминов А.О., Шадрин А.В., Шевырев А.А. Исследовательская система принятия решений по фрагментам сложного изображения, использующая нейроноподобные алгоритмы // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37, № 8. С. 961–986.

10. Яхно В.Г. Модели нейроноподобных систем. Динамические режимы преобразования информации // Нелинейные волны – 2002/ Отв. Ред. А.В. Гапонов-Грехов, В.И. Некоркин. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2003. С. 90–114.
11. Coenen A.M.L., van Luijelaar E.L.J.M., Kuznetsova G.D., Ivanov A.E., Nuidel I.V., Khurlapov P.G., and Yakhno V.G. Modeling of transition regimes between normal and pathological transformation of sensor signals in brain // Proceedings of Nijmegen Institute for Cognition and Information. 2004. P. 331.
12. Нуйдель И.В., Соколов М.Е., Яхно В.Г. Универсальная схема взаимодействия нейронных модулей для функционального моделирования процессов обработки информации // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. № 4.
13. Нуйдель И.В., Соколов М.Е., Кузнецова Г.Д., Яхно В.Г. Моделирование динамических процессов преобразования сенсорных сигналов в таламо-кортикальных сетях // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2011. № 6. С. 117–129.
14. Кудряшов А.В., Яхно В.Г. Распространение областей повышенной импульсной активности в нейронной сети // Динамика биологических систем. 1978. Вып. 2. С. 45–59.
15. Belliustin N.S., Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Yakhno V.G. Neural networks with close nonlocal coupling for analysing composite images // Neurocomputing. 1991. Vol. 3. P. 231–246.
16. Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Yakhno V.G. Segmentation and pattern recognition of a composite image product by a system of elements with neural network architecture // In book: Neurocomputers and Attention / Eds A. Holden, V. Kryukov. Manchester University Press. 1991. P. 5910–596.
17. Яхно В.Г. Процессы самоорганизации в распределенных нейроноподобных системах. Примеры возможных применений // Нейроинформатика 2001. Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2001. С. 103–141.
18. Яхно В.Г., Нуйдель И.В., Иванов А.Е. Модельные нейроноподобные системы: примеры динамических процессов // В кн.: Нелинейные волны–2004 / Отв. ред. А.В. Гапонов-Грехов, В.И. Некоркин. Н.Новгород: ИПФ РАН, 2005. С. 362–375.
19. Спицын И.Г., Нуйдель И.В., Яхно В.Г. Моделирование таламокортикальных связей в сенсорных системах // Научная сессия МИФИ – 2004. Ч. 1 Нейроинформатика – 2004. Всероссийская научно-техническая конференция. Теория нейронных сетей. 1. Нейробиология. Применение нейронных сетей 1. С. 145–149.
20. Yoonsuck Choe. The Role of Temporal Parameters in a Thalamocortical Model of Analogy // IEEE Transactions on Neural Networks. 2004. Vol. 15, № 5. P. 1071–1082.

Поступила в редакцию 15.09.2016
После доработки 1.11.2016

© А.В. Колосов, И.В. Нуйдель, В.Г. Яхно
Изв. вузов «ПНД», т. 24, № 5, 2016

RESEARCH OF DYNAMIC MODES IN THE MATHEMATICAL MODEL OF ELEMENTARY THALAMOCORTICAL CELL

A. V. Kolosov¹, I. V. Nuidel², V. G. Yakhno^{1,2}

¹Nizhny Novgorod State University

Gagarin St., 23, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

²Institute of Applied Physics of the RAS

Ul'yanov St., 46, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: 7418880@mail.ru; nira_appl@mail.ru; yakhno@appl.sci-nnov.ru

In the work the mathematical model of the thalamocortical network's unit cell and it's characteristic dynamical modes in system, describing the interaction between a thalamus, thalamus reticular nucleus and a cortex, is studied.

During normal information processing, input signal gating occurs in time in the thalamo-cortical network. The violation of the normal functioning leads to an epilepsy, when the perception of information is disrupted. The consideration of this system will lead to an understanding of the human perception's violation regularities, which correspond to the thalamo-cortical network's self-oscillation.

The focused mathematical model is described by a system of three differential equations. For this system a three-dimensional phase space is constructed, enabling us to track changes of the system's «equilibrium states» when parameters change.

The analysis of the system for the first time is performed using a three-dimensional phase space; the behavior of the representative points' trajectories is considered, and the representation of equilibrium states of the system becomes obvious. Due to the large number of parameters of the system to build that space makes it easier to predict the development of the system in subsequent time for any parameters.

The classification of dynamical modes in system (unexcited, excited and a self-oscillation), depending on the magnitude of the constant external signal incoming to the thalamus, is carried out. It is shown that the response of the system consists of a first pulse and following it self-oscillation pulses, whose period is different from the duration of the first pulse. The dependence of characteristic times of the first impulse response and the period of the self-oscillation with the external signal is studied.

The numerical analysis of the model revealed the existence of U-shaped dependence of the first pulse duration and a decreasing of the period of the self-oscillation in the response to the increase of the external signal value. The results are important for further consideration of the plausibility of the hypothesis, according to which the thalamocortical networks control the activity of the areas of the cerebral cortex and focused (normally) on the integration of the obtained results for decision-making at higher levels of neural network processing in brain structures.

Keywords: Neuronlike network, self-oscillation, relaxation oscillations, epilepsy, inhibitory connections, excitatory connections, signal gating, sensor signal.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-5-72-83

Paper reference: Kolosov A.V., Nuidel I.V., Yakhno V.G. Research of dynamic modes in the mathematical model of elementary thalamocortical cell // *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2016. Vol. 24. Issue 5. P. 72–83.

References

1. *Hecht-Nielsen R.* A theory of the cerebral cortex // *Proceedings of the 6th International Conference on Molecular Electronics and Biocomputing, Future Electronic Devices Association of Japan, Okinawa, 28–30 November 1995.*

2. *Coulter D.A.* Thalamocortical Anatomy and Physiology, Epilepsy: A Comprehensive Textbook // J. Engel (ed.), Jr. and T.A. Pedley, Liippincott Raven Publisher: Philadelphia, 1997. 341 p.
3. *Haber S.N., Calzavara R.* The cortico-basal ganglia integrative network: The role of the thalamus // Brain Research Bulletin 78. 2009. P. 69–74.
4. *Silkis I.G.* The contribution of synaptic plasticity in the basal ganglia in the processing of visual information (hypothetical mechanism) // Journal higher nervous activity. 2006. Vol. 56. № 6 (In Russian).
5. Human Physiology / Eds V.M Pokrovsky, G.F. Korot'ko. Textbook, 2nd ed., Rev. and ext. M.: 2003. 656 p. (In Russian).
6. *Vinogradova O.S.* Hippocampus and memory. M.: Nauka, 1975. (In Russian).
7. *Borysiuk R.* Simulation hippocampal theta rhythm// Journal of Higher Nervous Activity. 2004. Vol. 54, № 1. P. 85–100 (In Russian).
8. *Shevelev I.A.* Wave Processes in the Visual Cortex // J. Priroda. 2001. N12. P. 10. http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/12_01/ALPHA.HTM
9. *Yakhno V.G., Bellyustin N.S., Krasil'nikova I.G., Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Panfilov A.I., Perminov A.O., Shadrin A.V., Shevyrev A.A.* The research system of decision-making by fragments of a complex image using neuron algorithms // Izvestia VUZ. Radiophysics. 1994, Vol. 37, N8. Pp. 961–986 (In Russian).
10. *Yakhno V.G.* Models of neuron systems. Dynamic regimes of information processing// Proc. Nonlinear Waves–2002 / Eds A.V. Gaponov-Grekhov, V.I. Nekorkin. Nizhny Novgorod. IAP RAS. 2003. P. 90–114 (In Russian).
11. *Coenen A.M.L., van Luijelaar E.L.J.M., Kuznetsova G.D., Ivanov A.E., Nuidel I.V., Khurlapov P.G., and Yakhno V.G.* Modeling of transition regimes between normal and pathological transformation of sensor signals in brain // Proceedings of Nijmegen Institute for Cognition and Information, 2004. P. 331.
12. *Nuidel I.V., Sokolov M.E., Yakhno V.G.* Universal scheme of neuron interaction module for functional modeling of information processing// Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013. N4. (In Russian).
13. *Sokolov M.E., Kuznetsova G.D., Nuidel I.V., Yakhno V.G.* Modeling of dynamic processes of sensor signal processing in thalamo-cortical networks // Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2011. N6. P. 117–129. (In Russian).
14. *Kudryashov A.V., Yakhno V.G.* The propagation of areas of increased impulse activity in the neural network // Sbornik: The Dynamics of Biological Systems. 1978. P. 45–59. (In Russian).
15. *Bellyustin N.S., Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Yakhno V.G.* Neural networks with close nonlocal coupling for analysing composite images // Neurocomputing. 1991. Vol. 3. P. 231–246.
16. *Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Yakhno V.G.* Segmentation and Pattern Recognition of a Composite Image Product by a System of Elements with Neural network Architecture // In book: Neurocomputers and Attention/ Eds A. Holden, V. Kryukov. Manchester University Press. 1991, P. 590–596.
17. *Yakhno V.G.* Processes of self-organization in distributed neuron systems. Examples of possible applications // «Neuroinformatics–2001». Lectures on neuroinformatics. M.: MEPhI, 2001. P. 103–141 (In Russian).

18. *Yakhno V.G., Nuidel I.V., Ivanov A.E.* The model neuron system: examples of dynamic processes // In: «Nonlinear Waves - 2004» / Eds A.V. Gaponov-Sin, V.I. Nekorkin. Nizhny Novgorod: IAP RAS, 2005. P. 362–375 (In Russian).
19. *Spitcin I.G., Nuidel I.V., Yakhno V.G.* Modeling thalamocortical connections in the sensory systems // Scientific session MEPhI-2004. Part 1 «Neuroinformatics-2004». The theory of neural networks. 1. Neurobiology. Application of Neural Networks 1. P. 145–149. (In Russian).
20. *Yoonsuck Choe.* The role of temporal parameters in a thalamocortical model of analogy // IEEE Transactions on Neural Networks. Vol. 15, N5, September 2004. P. 1071–1082.

Колосов Алексей Вадимович, родился в Нижнем Новгороде (1996), студент 4 курса факультета Высшей школы общей и прикладной физики ННГУ им. Лобачевского. Область научных интересов: беспроводная передача энергии на основе нанотехнологий, нанотехнологии в медицине.

Россия, 603950 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Email: 7418880@mail.ru

Нуйдель Ирина Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории автоволновых процессов в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород), кандидат физико-математических наук. Область научных интересов: нелинейная динамика, исследование структур коллективной активности в однородных распределенных нейрноподобных системах, обработка изображений, моделирование процессов преобразования сенсорных сигналов в таламокортикальных сетях. Имеет более 60 научных публикаций.

Россия, 603950 Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46
Институт прикладной физики РАН
Email: nira_appl@mail.ru

Яхно Владимир Григорьевич, заведующий лабораторией автоволновых процессов в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород), доктор физико-математических наук. Научные интересы связаны с исследованием процессов самоорганизации в распределенных неравновесных системах и применением автоволновых представлений для моделирования процессов обработки сенсорных сигналов, развития компьютерных алгоритмов кодирования сложных изображений (разработка биометрических систем), рассмотрением характерных процессов в модельных системах, имитирующих функционирование живых систем. Имеет более 200 научных публикаций (в том числе 2 монографии и 10 патентов).

Россия, 603950 Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46
Институт прикладной физики РАН
Email: yakhno@appl.sci-nnov.ru