

Отзыв официального оппонента

на диссертацию

Стасенко Сергея Викторовича

«Сетевые модели управления динамическими режимами

синапсов в реализации обучения и памяти»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 5.12.4. «Когнитивное моделирование».

Согласно формулировке автора, диссертация посвящена "исследованию с использованием математического моделирования эффектов управления динамическими режимами синапсов на разных временных масштабах активной внеклеточной средой в реализации когнитивных процессов, в частности, обучения и памяти, для перехода от биологических к техническим системам.."

После детального знакомства с работой, я бы сказал, что ее основным содержанием является разработка целостного подхода в моделировании базовых когнитивных функций на уровне динамики нейронных ансамблей с опорой на учет двух важных факторов, управляющих синаптическими связями, а именно, глиотрансмиссии и вклада внеклеточного матрикса. Разработка такого подхода - это новый важный этап в построении математических моделей активности структур мозга.

В период формирования того обширного направления исследований, которое сейчас принято называть вычислительной нейронаукой, господствовало представление, что именно свойства нейронов и топология их связей являются главным фактором обеспечения когнитивных функций мозга. С прогрессом нейробиологии стало очевидно, что целый ряд важных когнитивных функций опосредован не только и не столько нейронами, сколько их сложным взаимодействием с астроцитами при существенном вкладе межклеточного матрикса. Развитие модельно-теоретических представлений, соответствующих этому новому пласту знаний, является весьма актуальной задачей, и именно такая задача, по сути, ставится и решается в диссертации С.В.Стасенко. Примененные им способы решения этой задачи - математическое и компьютерное моделирование когнитивных процессов на самом базовом уровне нейронных ансамблей (главы 1-4), а также демонстрация возможностей нового типа моделей в задачах базовых когнитивных функций обучения и запоминания (главы 5 и 6) убеждают в полном соответствии темы диссертации требованиям специальности 5.12.4. «Когнитивное моделирование».

Диссертация состоит из Введения, 6 глав, Заключение, Выводов и 2 приложений. Полный объем диссертации составляет 316 страниц, включая 115 рисунков и 4 таблицы.

В первой главе диссертационной работы автор на примере популяционной модели нейронной активности показывает, что включение в математическую модель путей регуляции проводимости синапсов активной внеклеточной средой, а именно - учет действия глиотрансмиттеров, позволяет воспроизвести формирование пачечной нейронной активности, а также управлять ритмогенезом.

Во второй главе диссертационной работы показано, что моделирование взаимодействия модели нейрона с матриксом внеклеточной среды приводит к формированию бистабильного динамического режима нейронной активности, которое характеризуется сосуществованием осцилляторного и устойчивого стационарного состояний. Важно, что обнаруженный эффект не зависит от типа регуляции (возбуждение или торможение) и весьма вероятен в качестве одного из механизмов модуляции пачечной нейронной активности в случае четырехчастного синапса.

В третьей главе диссертационной работы автор показывает, что выявленные в первых двух главах механизмы способны вызвать спонтанные переходы между паттернами активности в нейронной сети. Предложена модель, объясняющая нарушение синхронизации нейронов в мозгу и поддержание ритмогенеза при патологических изменениях активной внеклеточной среды, вызванных, в частности, инфекцией COVID-19.

Четвертая глава посвящена исследованию сетевых эффектов управления динамическими режимами синапсов активной внеклеточной средой, как относительно медленным механизмом регуляции нейронной активности. Показано, что внеклеточный матрикс мозга может опосредовать еще один механизм формирования пачечной активности нейронной сети. Показано, что различные варианты взаимодействия между внеклеточным матриксом мозга и нейронами могут приводить как к формированию пачечной активности нейронной сети, так и к ее подавлению.

В пятой главе исследуются эффекты, вызванные влиянием глиотрансмиттеров на кодирование информации в импульсной (спайковой) модели нейронной сети. Для этой цели автором предложены две модели, воспроизводящие первичную обработку информации в импульсной нейронной сети. На основе анализа полученных результатов сделан вывод, что активная внеклеточная среда, сформированная глиотрансмиттером, помимо своей очевидной функциональной роли низкочастотного фильтра из-за более медленного временного масштаба лежащих в ее основе процессов, в процессе обработки информации выступает в роли буфера, позволяющего динамически хранить основные характеристики информационного паттерна.

Шестая глава посвящена прикладным аспектам использования разработанных моделей в нейроморфных технических системах. Предложена математическая модель в виде

импульсной нейронной сети с конкурирующими механизмами управления пачечной активности на основе мемристивной пластичности и с учетом роли активной внеклеточной среды. Исследованы перспективы одновременного использования различных путей модуляции свойств синапсов для создания искусственных нейроморфных систем. Предложены математические модели обоняния на основе мемристивной пластичности и нейронной сети с эффектом памяти, обусловленным вкладом активной внеклеточной среды.

Итоги работы подведены в "Заключении" и "Выводах", где автор сначала расширенно, а затем кратко суммирует выполненные работы и полученные результаты.

Говоря о технических аспектах работы в целом, следует отметить высокое качество текста и оформления. Диссертация написана хорошим русским научным языком. Список цитированной литературы содержит 726 наименований – это очень много, но в данном случае, видимо, обосновано в силу охвата автором широкого круга проблем при обосновании конкретных модельных подходов.

Переходя к общей оценке содержания, **наиболее сильной стороной работы** следует считать то, что **создан методически целостный подход** в построении математических моделей активности структур мозга на основе учета двух важных факторов, управляющих динамикой нейронных ансамблей: глиотрансмиссии и внеклеточного матрикса. Задачи, решаемые в главах диссертации, выстроены от простых к более сложным, логично и понятно. Сквозной нитью по главам проходит анализ динамики моделей вне частного контекста, путем акцента на роль обратных связей. Такой подход представляется концептуально важным и правильным. Автор не предлагает "еще одну модель", но указывает, что целый класс моделей подобной структуры будет демонстрировать наблюдаемую динамику. Такой стиль можно назвать интуитивно-экспертной оценкой структурной устойчивости модели. Как пример такого подхода к интерпретации результатов, на стр. 75 читаем: *"Эффекты импульсной активности и синаптической памяти представляют собой общие черты, не требующие специфических характеристик в нейрон-глиальном взаимодействии, конкретной архитектуры нейронной сети или динамики отдельных нейронов.."*

На примере ряда предложенных моделей, выявлены интересные свойства, которые обретают ансамбли нейронов при добавлении обратных связей, имитирующих действие нейротрансммиттера и ВКМ. В итоге, при прочтении диссертации на возникает сомнений в обоснованности научных положений и сделанных автором выводов, равно как и в достоверности полученных результатов.

Что касается **слабых мест работы** в целом, то здесь оппонент в затруднении. Можно укорить автора за то, что объем текста великоват, во многом - за счет того, что каждая глава имеет свою небольшую обзорную часть. Несколько слабовато по объему результатов на фоне последующих глав выглядят главы 1 и 2. Но все же, это не тянет на серьезные претензии к работе в целом. Таковых нет.

Тем не менее, по тексту диссертации можно сделать **следующие замечания:**

1. В начале главы 3 обращает на себя внимание утверждение: "В данной главе исследуются сетевые эффекты влияния глиотрансммиттера на функциональные состояния **мозга**."

Это утверждение не соответствует содержанию главы, так как анализ последующего текста выявил единственное упоминание, касающегося состояния мозга в целом, на стр 75: *"Эта бистабильность на сетевом уровне может способствовать формированию устойчивых состояний в префронтальной коре головного мозга [506]."* И все.

2. На стр 79 читаем: "Для описания изменения активной внеклеточной среды используется **среднеполевой подход**, позволяющий в простой форме кинетических уравнений записать связь между концентрациями нейро- и глиотрансммиттерами". На мой взгляд, применение такого подхода сомнительно и, как минимум, требует серьезного обоснования. По всей диссертации красной нитью проходит представление о том, что выделение нейротрансммиттеров и глиотрансммиттеров это локальные события, приуроченные если не к отдельному синапсу, то к отдельному нейрону или астроциту. Фактически, таким построением модели заранее предполагается синхронная динамика нейротрансммиттера по всему ансамблю, что, на мой взгляд, снижает ценность данного конкретного результата.

3. Возникает некий конфуз при использовании автором "модели Ижикевича". Например, на стр. 76 автор указывает один литературный источник [5], а чуть ниже, на стр. 91, другой, [517], это разные модели? К тому же, под ссылкой [517] скрывается целая книга, где моделей намного больше, чем одна. Наконец, на стр. 113 это "модифицированная модель Ижикевича [517]", она отличается дополнительным током в правой части, описание которого удалось отыскать на 2 страницы ниже по тексту..

4. Метрики сходства изображений перечислены без расшифровки и объяснений при первом их упоминании в разделе 5.1 на стр. 129, в то время как необходимые пояснения по ним даны десятью страницами ниже, в разделе 5.2.2.

5. В тексте диссертации имеется ряд стилистических погрешностей и жаргонных выражений, например:

Стр. 7: "Модель нейрона Ходжкина-Хаксли [1] стала ключевым исследованием в молекулярно-клеточном изучении мозга." - вероятно автор имел в виду построение или разработку модели ?

Стр. 7: "...в мозгу с недостатком вычислительных мощностей..." - без комментариев..

Стр.26: "... демонстрируют снижение корковых ритмов и повышенное давление сна, что приводит к длительному бодрствованию и когнитивным нарушениям..." - непонятно, каким образом повышенное давление сна может продлить бодрствование?

Стр 28: "эндотелиальные клетки головного мозга" - вероятно, имеются в виду эндотелиальные клетки сосудов?

Стр. 29: "Модель трехчастного синапса показывает участие астроцитов во многих процессах обработки информации в мозгу" - сомневаюсь, что модель сама по себе способна показать это участие. Вероятно, здесь следует говорить об экспериментальных данных, на которых она основана.

Стр. 29: "...астроциты влияют на синхронизацию вверх-вниз в нейронных сетях ... астроциты могут способствовать возникновению реалистичных режимов «вверх-вниз»"

Стремление избавиться от англицизмов похвально, но здесь, мне кажется, автор переусердствовал. Достаточно было бы один раз расшифровать общепринятый в нейронауках термин "Up-Down".

Стр. 42: "... тормозная пластичность может эффективно генерировать линейную, нелинейную или хаотическую динамику" - Научный жаргон. Как можно генерировать динамику?

Стр.43: "Однако конкуренция со стороны разработчиков программного обеспечения подчеркивает необходимость стратегического позиционирования мемристоров в цепочке создания стоимости оборудования..." - фраза настолько выбивается из контекста, что возникает вопрос как она сюда попала?

Стр. 99: "...сигнал популяционной активности имеет низкую амплитуду (до 10 Гц), что также влияет на спектр мощности..." Также на стр. 109: "большинство пачек имеет амплитуду до 250 Гц".

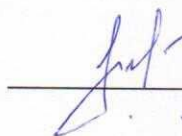
6. Текст не свободен от опечаток. Их немного, но есть. Например, на стр. 216 читаем: "С лева на право".

Как видно из самого текста приведенных выше замечаний, все они носят "рабочий" характер и никоим образом не ставят под сомнение ценность и важность проделанной автором работы. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, считаю обоснованными. Высокая степень достоверности и новизны результатов диссертации Стасенко Сергея Викторовича подтверждаются списком публикаций из 24 статей (и еще 20 других публикаций) по теме диссертации, где можно видеть такие рейтинговые и уважаемые журналы как "Scientific Reports", "PLoS One", "Chaos, Solitons and Fractals", "Studies in Computational Intelligence" и другие. Не возникает ни малейшего сомнения, что труд Стасенко С.В. - это добротная докторская диссертация, она содержит ту необходимую совокупность оригинальных научных результатов, обобщений и выводов, которую можно квалифицировать как крупное научное достижение в области когнитивного моделирования.

Автореферат содержит всю необходимую информацию и адекватно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного, можно заключить, что диссертационная работа Стасенко Сергея Викторовича «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» удовлетворяет всем требованиям пунктов 9-11,13,14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года в действующей редакции, предъявляемым к докторским диссертациям, а сам Стасенко Сергей Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 5.12.4. - "Когнитивное моделирование".

Доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО
«Саратовский национальный исследовательский
государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского»,


Постнов Дмитрий Энгелевич
26.11.2024

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук защищена по специальности 01.04.03 - "Радиофизика".

E-mail: postnov@info.sgu.ru, postnovdmitry@gmail.com
тел: +79272783870

Адрес места работы:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

