ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Проскуркина Ивана Сергеевича «Динамические режимы нейроподобных сетей импульсно связанных химических осцилляторов и создание устройства с адаптивным поведением», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Диссертационная работа Проскуркина Ивана Сергеевича посвящена решению актуальной проблемы радиофизики, направленной на теоретическое и экспериментальное исследование динамических режимов в сети нейроподобных осцилляторов, представляющих собой химические осцилляторы с импульсными связями и временной задержкой. Такое направление научных исследований представляется в настоящее время достаточно важным и перспективным в связи с возможностью применения полученных результатов для создания устройств с адаптивным поведением и построения искусственных нейронных сетей, что делает тему работы актуальной не только для радиофизики, но и других смежных областей. В работе рассмотрено несколько типов связей между нейроподобными элементами (ингибиторная и активаторная импульсные связи, «инверсная» ингибиторная связь и др.) и сделана попытка построения нейроморфного устройства, работающего на сети химических осцилляторов с вышеназванными связями. Диссертационная работа имеет вполне логичную структуру, подчиняющуюся принципу «от простого к сложному», и характеризуется органичным сочетанием фундаментальных аспектов изучаемой проблемы и ее возможных приложений. Диссертация соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика (пп. 1,4 паспорта специальности) и, как отмечалось выше, является актуальной, современной и практически значимой.

Диссертационная работа содержит 117 страниц машинописного текста, включая 52 рисунка и 2 таблицы. Она состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит список сокращений и условных обозначений, список литературы из 180 источников и 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, описаны методология и методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения о степени достоверности и апробации результатов.

Оригинальный материал диссертации изложен в пяти главах. Первая глава представляет собой обзор литературы по тематике диссертационного исследования: дан краткий экскурс в историю создания реакции Белоусова-Жаботинского, описаны ее механизмы и модели, включая системы и сети связанных химических осцилляторов, приведены экспериментальные реализации вычислительных устройств, использующих эту реакцию. В последующих двух главах (главы 2-3) изложены результаты экспериментальных и численных исследований динамических

режимов двух разночастотных импульсно связанных химических осцилляторов с временной задержкой. Рассмотрены случаи ингибиторной и активаторной связей (глава 2), а также случай «инверсной» ингибиторной связи (глава 3). Полученные результаты обобщены в главе 4 на ансамбли ингибиторно связанных химических осцилляторов с глобальной отрицательной обратной связью. В каждой главе подробно описаны экспериментальная установка для проведения исследований и уравнения для численного моделирования. Результаты экспериментальных и теоретических исследований сопоставлены друг с другом. Во всех случаях получено хорошее качественное соответствие экспериментально и численно полученных результатов. В частности, обнаружено множество резонансных режимов для двух разночастотных импульсно связанных осцилляторов; в случае импульсной связи с временной задержкой для резонанса 1:2 найден фазовый переход между различными режимами, сопровождающийся резким изменением периода колебаний; обнаружена мультистабильность в двух осцилляторах Белоусова-Жаботинского, связанных импульсной ингибиторной связью с временной задержкой, и выявлены причины ее появления; найден новый тип импульсной активаторной связи, основанный на кратковременном отключении ингибирования, названный «инверсной» ингибиторной связью; обнаружены различные типы поведения в ансамбле локально связанных химических осцилляторов с глобальной отрицательной обратной связью и др. В пятой главе на основе сети импульсно связанных химических осцилляторов экспериментально реализовано нейроморфное устройство, выполняющее задачу адаптивного поведения. Итоги диссертационной работы, основные результаты и выводы сформулированы в Заключении. Все переключения между ритмами нейроморфного устройства описаны в Приложениях к диссертации.

Работа написана четким и понятным научным языком и оставляет приятное впечатление. Достоверность и обоснованность научных результатов и положений, выносимых на защиту, обеспечиваются адекватностью используемых математических моделей, строгостью применяемых методов и подходов, качественным соответствием результатов численного моделирования и экспериментальных исследований друг с другом и результатами, известными из научной литературы.

Результаты диссертационной работы отличаются несомненной новизной, а также научной и практической значимостью, подтверждением чего является достаточно большое число научных работ, опубликованных по материалам диссертационного исследования. Основные результаты работы изложены в 11 печатных работах, среди которых 7 статей в высокорейтинговых научных журналах (Physical Chemistry Chemical Physics, Q1, IF = 3.430 – 4 статьи; ChemPhysChem, Q2, IF = 3.144 – 1 статья; Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, Q1, IF = 2.832 – 1 статья; Russian Journal of Physical Chemistry A, Q4, IF = 0.719 – 1 статья), входящих в международные системы научного цитирования Web of Science и Scopus, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов кандидатских и докторских диссертаций, 4 тезиса докладов на

международных и всероссийских научных конференциях, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Работы Ивана Сергеевича активно читаются как в нашей стране, так и за рубежом, о чем свидетельствует статистические отчеты, полученные по данным международных информационно-аналитических систем научного цитирования. Так, за последние 5 лет по данным Web of Science работы Проскуркина И.С. были процитированы около 40 раз, что свидетельствует о востребованности полученных им результатов мировым научным сообществом.

Основные положения, вынесенные автором на защиту по результатам проведенных исследований, не вызывают существенных нареканий. По самому содержанию диссертации можно сформулировать следующие замечания:

1. Терминология, используемая автором на протяжении всей диссертационной работы, в ряде случаев отличается от общепринятой. В частности, не совсем удачными являются такие понятия как «симуляция», «наибольший показатель Ляпунова», «осцилляции», «нативные колебания», «компьютерный эксперимент» и др. Более целесообразно в таком контексте использовать термины «моделирование», «старший показатель Ляпунова», «колебания», «собственные колебания», «численное моделирование» и т.д.
2. В ряде случаев, например, при описании результатов второй главы автор использует качественные характеристики, режимов, наблюдаемых в исследуемых системах. Например, при описании экспериментальных кинетических кривых (рисунок 4с) автор упоминает, что «сложные резонансы похожи на хаос». На мой взгляд, в данном случае целесообразно подтвердить наличие хаоса путем расчета количественных характеристик, например, старшего показателя Ляпунова по временному ряду.
3. Для иллюстрации результатов четвертой главы, полученных как в ходе экспериментальных исследований, так и численного моделирования, автор использует, как правило, такой инструмент как построение пространственно-временных диаграмм. При этом, при описании теоретических результатов даже рассчитываются количественные характеристики степени хаотически в нескольких характерных точках. В то же самое время, описание результатов было бы более интересным и полным, если бы в работе были приведены не отдельные числа, а, например, зависимости старшего показателя Ляпунова от управляющего параметра и/или бифуркационные диаграммы, иллюстрирующие сценарии перехода к хаосу или другим режимам. Приведенные пространственно-временные диаграммы выглядят однотипно, что является сложным для восприятия.
4. В четвертой главе диссертационной работы автор говорит о чувствительности различных колебательных структур к выбору начальных условий, особенно вблизи границ между различными динамическими структурами. На мой взгляд, было бы интересно уделить этому вопросу большее внимание, в

частности, построить карты бассейнов притяжения и ввести в рассмотрение количественные характеристики степени мультистабильности.

Сделанные замечания не касаются основных идей и результатов автора, изложенных в диссертации, и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация И.С. Проскуркина представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в области радиофизики, содержащую решение ряда научных задач, имеющих существенное значение для развития современной радиофизики, и характеризующуюся практической значимостью в области приложения полученных радиофизических результатов для создания нейроморфного устройства с адаптивным поведением. Основное содержание диссертации опубликовано в 11 научных работах автора, включая 7 статей в престижных отечественных и зарубежных научных журналах, результаты работы апробированы на различных научных конференциях и семинарах.

Научные положения и выводы, представленные в диссертации, являются обоснованными и могут быть рекомендованы к использованию в исследованиях фундаментального и прикладного характера как в области радиофизики, так и других смежных наук. Автореферат содержит всю необходимую информацию и адекватно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Проскуркина Ивана Сергеевича удовлетворяет всем требованиям п. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.04.03 – радиофизика».

Официальный оппонент

Профессор кафедры физики открытых систем института физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», доктор физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), доцент Москаленко Ольга Игоревна.

Почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, телефон: +7(937)2484983; +7(8452)517206, e-mail: o.i.moskalenko@gmail.com

Согласна на обработку персональных данных.

Подпись [illegible] удостоверяю
Ученый секретарь [illegible] И.В. Федусенко
«[illegible]» [illegible] 2024 г.