

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03 (Д 212.166.07), СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО», ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23.06.2021 г. № 14.

О присуждении Проскуркину Ивану Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертация «Динамические режимы нейрноподобных сетей импульсно связанных химических осцилляторов и создание устройства с адаптивным поведением» по специальности 01.04.03 – радиофизика принята к защите 14 апреля 2021 г., протокол № 10, диссертационным советом 24.2.340.03 (Д 212.166.07), созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособнадзора № 1990-1015/130 от 4 сентября 2007 г.

Соискатель, Проскуркин Иван Сергеевич, 1990 года рождения, окончил Балтийский федеральный университет им. И. Канта по специальности «Радиофизика и электроника» в 2012 году. В 2016 году окончил аспирантуру Балтийского федерального университета им. И. Канта по специальности 01.04.03 «Радиофизика». С 2013 года по настоящее время работает в ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта». С 2013 года работал на должности техника, с 2015 года принят на должность младшего научного сотрудника, с 2020 года работает на должности научного сотрудника в Центре нелинейной химии. Диссертация выполнена в Центре нелинейной химии ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Ванаг Владимир Карлович, профессор, директор Центра нелинейной химии ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта».

Официальные оппоненты:

1. Москаленко Ольга Игоревна, гражданка Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 – радиофизика), доцент, профессор кафедры физики открытых систем Института физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
2. Храмов Александр Евгеньевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 – радиофизика), профессор, руководитель лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном 20.05.2021 г., составленном 18.05.2021 г. на заседании семинара Отдела нелинейной динамики ИПФ РАН доктором физико-математических наук В.И. Некоркиным, указала, что диссертация Проскуркина Ивана Сергеевича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Проскуркин Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, из них 7 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Авторский вклад соискателя в опубликованные в

соавторстве работы заключается в проведении экспериментов, теоретическом исследовании, в анализе и обработке результатов, в анализе литературных источников по теме исследований, а также в формулировании результатов и выводов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Proskurkin, I.S. Inhibitory and excitatory pulse coupling of two frequency-different chemical oscillators with time delay / I.S. Proskurkin, A.I. Lavrova, V.K. Vanag // Chaos. – 2015. – Vol. 25 – № 6.
2. Proskurkin, I.S. New type of excitatory pulse coupling of chemical oscillators via inhibitor / I.S. Proskurkin, V.K. Vanag // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2015. – Vol. 17 – № 27 – P. 17906–17913.
3. Proskurkin, I.S. Dynamics of a 1D array of inhibitory coupled chemical oscillators in microdroplets with global negative feedback / I.S. Proskurkin, V.K. Vanag // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2018. – Vol. 20 – № 23 – P. 16126–16137.
4. Proskurkin I.S. Experimental verification of an opto-chemical “neurocomputer” / Proskurkin I.S., P.S. Smelov, V.K. Vanag // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2020. – Vol. 22 – P. 19359–19367.

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва от:

1. Скорб Е.В., кандидат химических наук, профессор, директор научно-образовательного центра инфохимии ФГАОУ ВО «Национального исследовательского университета ИТМО»

2. Кузнецов О.П., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем управления РАН

3. Дубков А.А., доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Математические методы в радиофизике» ФГАОУ ВО «Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского»

Все отзывы положительные. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания:

– **Замечания из отзыва ведущей организации:**

– Одной из целей диссертационной работы является «применение полученных результатов для создания устройства с адаптивным поведением». В четвертой главе исследовано влияние глобальной отрицательной обратной связи на динамику сети, однако при создании устройства с адаптивным поведением эти результаты не были применены. Полезно было бы оценить возможность контроля уровня глобальной связи в качестве адаптационного механизма;

– Во второй и третьей главе исследованы кривые переустановки фазы осцилляторов. Было бы не лишним получить такие кривые также и для используемых в пятой главе светочувствительных БЖ (Белоусова-Жаботинского) микроосцилляторов;

– Кроме того, к работе есть терминологическое замечание. В русскоязычной литературе бифуркацию рождения предельного цикла из фокуса принято называть «бифуркацией Андронова-Хопфа», а не просто «Хопфа».

– **Замечания и недостатки из отзыва официального оппонента Москаленко О.И.:**

– 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.;

– 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;

– 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 хаотичности 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;

– 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 вопросу большее внимание, в частности, построить карты бассейнов притяжения и ввести в рассмотрение количественные характеристики степени мультистабильности;

– **Замечания и недостатки из отзыва официального оппонента Храмова А.Е.:**

– Автор сопоставляет экспериментальные результаты с расчетами по моделям химических реакций. Не всегда очевидно, почему взята та или иная модель. В частности, в четвертой главе автор от модели (1)-(4) БЖ-реакции в проточном реакторе, используемой в главе 2 и 3, переходит к модели Ванага-Эпстина. Видимо, это полностью разумно, но никаких обоснований этого автором не приводится. Автор не приводит всех обозначений для моделей. В частности, при описании модели двунаправленной инверсной связи (стр. 44, формулы (11)-(14)) автор не приводит вид функции $P(*)$, ограничиваясь описанием в подписи к рис. 13: «*почти прямоугольная функция...*».

Отмечу также больше как пожелание, что при численном моделировании ожидаешь более детального и обширного анализа динамики системы по сравнению с экспериментальным исследованием, так как существует возможность анализировать

те параметры, которые недостижимы по тем или иным причинам в эксперименте. Был бы интересен такой более детальный анализ исследуемых систем в рамках численного моделирования. Например, в главе 3 автор рассматривает тип связи, который имеет недостаток: невозможно увеличить в эксперименте силу связи до нужной автору величины. Но такая возможность, очевидно, имеется в численном моделировании, где нет соответствующих экспериментальных ограничений. Поэтому можно было бы провести в данном случае теоретический анализ ситуации;

– В ряде случаев не хватает для полноты картины описания динамики системы. Например, не приводятся характерные частоты автоколебаний, спектры и фазовые портреты автоколебательных режимов. Например, в главе 2 вторым рисунком в диссертации после иллюстрации экспериментальной установки является диаграмма резонансных режимов. Вместе с тем было бы полезно представить для лучшего понимания процессов в системе более наглядные характеристики – осциллограммы колебаний, фазовые портреты и спектры типичных колебательных режимов. Это относится и к другим главам;

– Диссертационная работа написана с избыточным числом аббревиатур, при этом имеются как русскоязычные, так и англоязычные. Это затрудняет чтение работы, заставляя часто возвращаться к поиску расшифровки. В диссертации имеется список обозначений, но его следовало бы расположить в начале работы после Содержания для удобства читателя. Также в диссертационной работе используются неудачные термины или выражения. Например, автор использует термин «*биритмичность*» на стр. 8 (3-е Положение), которое по традиционной терминологии должно быть заменено мультистабильностью (или бистабильностью в конкретном случае). На стр. 33 автор говорит об «*уклоне зависимостей*». Видимо, речь идет о «*наклоне...*»?;

– **Замечания из отзыва на автореферат Кузнецова О.П.:**

– В качестве замечания следует отметить явно завышенные утверждения автора об интеллектуальности разработанных устройств. Адаптивность вовсе не тождественна интеллектуальности. Она может быть реализована простыми конечными автоматами. Описанное в автореферате устройство как раз и является обыкновенным конечным

автоматом, т.е. детерминированным дискретным устройством с конечным числом состояний.

– **Замечания из отзыва на автореферат Дубкова А.А.:**

– В качестве замечаний отмечу не совсем оправданное деление материала кандидатской диссертации на столь большое количество глав, а также отсутствие в автореферате (за исключением главы 4) уравнений применяемых моделей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено:

– применение импульсной связи для двух разночастотных БЖ осцилляторов приводит к появлению множества резонансных режимов, таких как 1:1, 2:3, 1:2, 2:5, 1:3 и 1:4;

– для двух разночастотных БЖ осцилляторов, связанных импульсной ингибиторной связью с временной задержкой, имеет место фазовый переход для резонанса 1:2 между так называемыми режимами “0.2/0.7” и “0/0.5”, который можно контролировать временной задержкой и силой связи, и который сопровождается резким изменением периода колебаний;

– начальные условия, определяемые как сдвиг фаз, влияют на динамические режимы двух БЖ осцилляторов, связанных импульсной ингибиторной связью с временной задержкой, причем это влияние обусловлено существованием биритмичности между противофазным и синфазным режимами при резонансе 1:1 для определенного диапазона времён задержки;

– существование нового типа импульсной активаторной связи, основанной на кратковременном (импульсном) отключении постоянного внешнего ингибирования БЖ реакции, осуществляемого, например, светом;

– глобальная отрицательная обратная связь (ГООС) может контролировать динамику локально связанных БЖ микроосцилляторов, расположенных в капилляре, приводя к формированию паттернов различного вида: лестничных, многофазных регулярных колебательных с пятью-шестью (или более) кластерами, хаотических колебательных кластеров и других;

– с помощью сети импульсно связанных БЖ микроосцилляторов может быть реализовано химическое нейроморфное устройство, выполняющее адаптивное поведение, что подтверждено экспериментально.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации изучено влияние импульсной связи на динамические режимы сети связанных нейроподобных осцилляторов. Исследованы динамические режимы двух разночастотных импульсно связанных химических БЖ осцилляторов. Для разных видов связи (активаторная, ингибиторная, «инверсная» ингибиторная) получены кривые переустановки фаз, что позволяет применять их для простого анализа динамических режимов менее трудоемким способом, чем решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Изучено влияние глобальной отрицательной обратной связи на динамику сети одномерного ансамбля локально связанных БЖ микроосцилляторов. Полученные результаты относятся к исследованию сложных колебательных процессов и вносят вклад в область теории динамических систем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что на основании полученных в диссертационном исследовании результатов показана возможность использования сети импульсно связанных химических БЖ осцилляторов в качестве нейроподобной сети, на основе которой можно построить химическое нейроморфное устройство.

Оценка представленных результатов исследования выявила, что их **достоверность** подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных полученных данных, использованием апробированных моделей и методов исследования химических осцилляторов. Основные результаты, полученные в

диссертации, неоднократно обсуждались на международных научных конференциях. Научные результаты опубликованы соискателем в высокорейтинговых научных журналах и имеют цитирования как в России, так и за рубежом.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, выборе и реализации методов их решения. Создание установок, написание программ в среде LabVIEW и выполнение экспериментальных работ с двумя импульсно связанными БЖ осцилляторами и с влиянием ГООС на одномерный массив БЖ микроосцилляторов проводились лично соискателем. Теоретические исследования, обсуждение результатов и написание статей проводились совместно с руководителем.

На заседании 23.06.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить И.С. Проскурину И.С. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика, на основании того, что диссертация представляет собой научную квалификационную работу, в которой содержатся новые теоретические и экспериментальные результаты, имеющие значение для развития радиофизики, и которая соответствует критериям, установленным требованиями пп. 9 – 11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 01.10.2018, с изменениями от 26.05.2020).

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 22 человек (из них 13 участвовало очно и 9 участвовало в удаленном интерактивном режиме), из них 9 докторов наук по специальности 01.04.03 – радиофизика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 22, против присуждения ученой степени – нет, не участвовавших в голосовании – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Бакунов Михаил Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клюев Алексей Викторович

23.06.2021