

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. № 15 .

О присуждении Смелову Павлу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Диссертация «Изучение динамических режимов малой сети осцилляторов, связанных импульсной ингибирующей связью с временной задержкой» по специальности 01.04.03 – радиоп физика принята к защите 14 апреля 2021 г., протокол № 11, 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, Смелов Павел Сергеевич, 1990 года рождения, окончил Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта по специальности «Прикладная математика и информатика» в 2012 году. В 2014 году получил степень магистра с отличием по направлению «Прикладная математика и информатика». В 2018 году окончил аспирантуру Балтийского Федерального Университета им. И. Канта по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» (квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь»). В 2021 году закончил экстернат по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» направленность 01.04.03 «Радиоп физика». С марта 2015 года по январь 2021 года работал в ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта». С 26 марта 2015 года по 26 декабря 2019 года работал на должности инженера-исследователя Центра

нелинейной химии, с 26.12.2019 по 22.01.2021 – младший научный сотрудник Центра нелинейной химии.

Диссертация выполнена в Центре нелинейной химии ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила 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 имени Иммануила Канта».

Официальные оппоненты:

1. Постников Евгений Борисович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность - 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, профессор кафедры физики и технологий, заведующий отделом теоретической физики НИЦ физики конденсированного состояния федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный университет»
2. Пономаренко Владимир Иванович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность - 01.04.03 – Радиофизика), профессор, ведущий научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук.

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 27.05.2021 г., составленном 25.05.2021 г. на заседании семинара Отдела нелинейной динамики ИПФ РАН заведующим отделом нелинейной динамики, доктором физико-математических наук, профессором В.И. Некоркиным, указала, что диссертация Смелова Павла Сергеевича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Смелов Павел Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК опубликовано 6 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Авторский вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в участии в постановке задач, в получении и анализе экспериментальных и теоретических результатов, в анализе литературных источников по теме исследований, а также в формулировании результатов и выводов.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Vanag, V.K. Dynamical regimes of four almost identical chemical oscillators coupled via pulse inhibitory coupling with time delay / V.K. Vanag, P.S. Smelov, V. V. Klinshov // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2016. – Vol. 18 – № 7 – P. 5509–5520.
2. Смелов, П.С. Экспериментальное исследование сети из четырех химических осцилляторов, однонаправленно связанных ингибиторной импульсной связью / П.С. Смелов, В.К. Ванаг // *Журнал Физической Химии*. – 2017. – Т. 91 – № 6 – С. 963–968.
3. Smelov, P.S. A ‘reader’ unit of the chemical computer / P.S. Smelov, V.K. Vanag // *Royal Society Open Science*. – 2018. – Vol. 5 – № 1 – P. 171495.
4. Smelov, P.S. Controllable switching between stable modes in a small network of pulse-coupled chemical oscillators / P.S. Smelov, I.S. Proskurkin, V.K. Vanag // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2019. – Vol. 21 – № 6 – P. 3033–3043.
5. Proskurkin, I.S. Experimental verification of an opto-chemical “neurocomputer” / I.S. Proskurkin, P.S. Smelov, V.K. Vanag // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2020. – Vol. 22 – № 34 – P. 19359–19367.

**На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва от:**

1. Лаврова А.И., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

2. Постнов Д.Э., доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

3. Лебедева Е.А., доктор физико-математических наук, профессор, математико-механический факультет Санкт-Петербургского государственного университета.

4. Жусубалиев Ж.Т., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной техники Юго-Западного государственного университета.

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:**

– В первой главе проведено численное исследование влияния топологии сети на формирование режимов синхронизации, причем рассмотрены три различные топологии связей. Однако во второй главе, призванной верифицировать полученные численные результаты, приведены экспериментальные данные только по одной топологии – однонаправленная по кольцу.

– Также в первой главе описывается «надкритическая бифуркация перехода режима WR в трёхкластерный», однако из описания неясно, почему автор считает данный переход бифуркационным и какая это бифуркация.

– В третьей главе предложены и численно проверены три способа определения динамического состояния сети. Было бы полезно исследовать эти способы в эксперименте.

– 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 Пономаренко В.И.:**

– В работе не хватает информации о хаотическом поведении связанных осцилляторов, которые, скорее всего, имели место быть, но не привлекли внимание автора.

– В главе 2 и автореферате противофазный режим называется «антифазным». Этот термин скорее не принят в русскоязычной литературе, а является прямым переводом с английского.

– В работе не обсуждается согласование скорости протекания химических процессов со скоростью процессов управления двигательной активности в реальном времени, на что претендует создание центрального генератора ритмов на базе химического реактора.

– В работе присутствует ряд опечаток. Например, слова «вдобавок» и «немало» написаны вместе.

– **Замечания и недостатки из отзыва официального оппонента Постникова Е.Б.:**

– наличествует путаница в терминологии в части биологических и нелинейный динамических моделей, в частности режим возбудимости спутан с режимом релаксационных автоколебаний, противопоставление модели ФитцХью-Нагумо модели Ходжкина-Хаксли создает впечатление, что последняя, по мнению диссертанта, не описывает распространение нервного импульса (см. например, стр. 11-12);

– аналогичным образом есть путаница между химическими и математическими уравнениями, в частности, система (R1)-(R10) приводится к виду уравнений (3)-(5) не за счет “упрощения”, а в силу того, что (3)-(5) есть непосредственное математическое выражение на основе закона действующих масс дифференциальных уравнений, описывающих изменение концентраций веществ, входящих в реакции, записанные системой (R1)-(R10);

– в расшифровке обозначение к уравнению (7) по всей видимости пропущена единица, вычитаемая из дельты Кронекера, так как последняя равна единице когда индексы совпадают и нулю - в остальных случаях, в то время как соответствующий член (7) задает ненулевые взаимодействия именно между разными элементами сети;

– ряд аналогий приведены чересчур “далеко и смело”, в частности, синфазная синхронизация трёх осцилляторов при отдельно колеблющимся четвертом

представляет собой скорее не “легкий галоп” четвероного животного, а натуральную хромоту;

– утверждение о цели работы в виде создания теории колебаний связанных небольших сетей осцилляторов в свете представленного содержания является преувеличенным - несмотря на отдельные элементы теории для отдельных режимов системы фазовых осцилляторов, в целом содержание работы состоит в приведении феноменологической детальной классификации выявленных эмпирических динамических режимов, оставляя разработку теории их возникновения для дальнейших исследований;

– так как программа FlexPDE исходно работает с распределенными системами пространственно-временных дифференциальных уравнений, в работе следовало бы указать алгоритм введения искусственных пространственно-синхронизированных систем, динамика которых эквивалентна решениям ОДУ;

– в силу приведенной во вводной части аргументации о недостатке классической вычислительной системы в виде шины обмена данными, чему противопоставляются вычисления на базе “химического компьютера”, в последней главе следовало бы обсудить вопрос о скорости и эффективности обмена данными между ячейками, играющими роль вычислительных элементов, при их практической физико-химической реализации.

– **Замечания из отзыва на автореферат Лавровой А.И.:**

– Несмотря на актуальность и новизну работы хотелось бы отметить, что в работе создана не столько теория функционирования небольшой нейроподобной сети, как заявлено в цели, а достаточно в полной мере представлены режимы, которые могут наблюдаться в сети из 4-х осцилляторов, связанных импульсной ингибирующей связью. Однако данное замечание не снижает научную значимость работы.

– **Замечания из отзыва на автореферат Постнова Д.Э.:**

– Несмотря на общее положительное впечатление от работы, вдобавок к численным данным хотелось бы видеть экспериментальную проверку трёх предложенных методов распознавания динамических режимов.

– **Замечания из отзыва на автореферат Жусубалиев Ж.Т.:**

– По автореферату у меня следующие замечания. На мой взгляд, автореферат перегружен «терминологическим жаргоном», например, «математики-нелинейщики» (стр.3), «стабильность/нестабильность» вместо устойчивости/неустойчивости инвариантных множеств, «наиболее/наименее устойчивые режимы» (стр. 17.) и т.д.

– В изложении результатов 4-й главы (стр. 23-27) какая-то путаница в понятиях «внешнее воздействие» и «возмущение динамической системы». Несколько странным выглядит стиль оформления автореферата и графического материала. Первые две страницы оформлены одним стилем, а основное содержание – другим. Графический материал – это важный носитель информации, но он перегружен второстепенными деталями, которых нет в тексте. Это затрудняет восприятие материала и тяжело читать. Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки результатов представленной работы.

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:**

- построены карты областей динамических режимов сети четырёх осцилляторов, связанных ингибиторной импульсной связью при различных значениях параметров силы связи и задержки для трёх типов связи: однонаправленная по кругу, двунаправленная по кругу, связь «все со всеми»;
- получены области стабильности основных режимов сети при различных значениях разброса периодов колебаний осцилляторов вокруг среднего значения периода;
- разработаны три типа архитектуры сети с блоком распознавания своего текущего динамического состояния: определение режимов с помощью

задержек во времени, определение кластеров по амплитуде сигнала, определение режимов с помощью резонансного подхода;

- установлено, что переключения динамических состояний сети между собой возможно осуществлять двумя методами: силовым и специфическим;
- составлена таблица параметров переключения динамических режимов сети силовым методом.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что в диссертации развит теоретический подход к исследованию синхронизации импульсно связанных осцилляторов с временной задержкой, а также влияния внешнего воздействия на формирование их динамических режимов. В диссертации теоретически выявлены и подтверждены экспериментально мультистабильные свойства сетей осцилляторов, работа которых основана на химической реакции Белоусова-Жаботинского. Полученные результаты расширяют знания о функционировании сравнительно небольших сетей связанных осцилляторов с обратными связями.

**Значение** полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что на основании разработанных методов построения сетей с когнитивной функцией самостоятельного распознавания своего текущего динамического состояния показана возможность разработки интеллектуального устройства, способного адаптировать поведение в ответ на внешние стимулы. Кроме того, найденные параметры переключений режимов могут быть использованы для управления динамическим состоянием сетей с помощью внешнего воздействия.

**Оценка достоверности** полученных результатов исследования выявила, что представляемые результаты компьютерного моделирования получены с применением современных методов численного счёта, а данные натурального эксперимента – корректным применением апробированных методик экспериментальных исследований. Их достоверность и надёжность обеспечена согласованностью между собой и с результатами работ по предмету исследования, проведённых ранее другими авторами. Сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, достоверны.

**Личный вклад** соискателя состоит в проведении теоретических и экспериментальных исследований по изучению поведения сетей осцилляторов,



связанных импульсной связью с временной задержкой, и их контролю, в анализе полученных данных и подготовке публикаций.

На заседании 23.06.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Смелову П.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 требованиям 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

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бакунов Михаил Иванович

Клюев Алексей Викторович

23.06.2021