

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.199.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ИНСТИТУТА  
ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета 25.05.2017 г. № 2

О присуждении Бахшиеву Александру Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Нейроморфные системы управления на основе модели импульсного нейрона со структурной адаптацией» по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» принята к защите 24 ноября 2016 г., протокол № 4 диссертационным советом Д 002.199.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Рособнадзора номер 2472-618 от 8 октября 2010 года.

Соискатель Бахшиев Александр Валерьевич, 1979 года рождения, в 2002 г. с отличием окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет по специальности «Прикладная механика» (специализация «Мехатроника») (диплом № АВМ 0044821), в 2005 г. окончил очную аспирантуру в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 12/202, выдано в 2016 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). В настоящее время Бахшиев Александр Валерьевич работает старшим научным сотрудником в Центральном научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК).

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном научном учреждении «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский

институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК).

**Научный руководитель** – кандидат технических наук, доцент СТАНКЕВИЧ Лев Александрович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», кафедра «Системный анализ и управление (САУ)» Института компьютерных наук и технологий (ИКНТ).

**Официальные оппоненты:**

ПОТАПОВ Алексей Сергеевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», кафедра Компьютерной фотоники и видеоинформатики;

НИКОНОВ Антон Николаевич, кандидат технических наук, ООО «Люксофт Профешнл»

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук, г. Н. Новгород в своем положительном заключении, подписанном Яхно В.Г., зав. лабораторией автоволновых процессоров ИПФ РАН, д.ф.-м.н., и Шемагиной О.В., научным сотрудником ИПФ РАН, к.т.н., и утвержденном Сергеевым Александром Михайловичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, директором Федерального исследовательского центра Института прикладной физики Российской академии наук, указала, что автором в диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача разработки новой модели искусственного нейрона со структурной адаптацией, как элемента нейроморфной системы, которая позволяет исследовать структурные особенности биологических нейронных сетей и описывать их динамические свойства. Разработанная автором программная реализация модели нейрона обладает высокой способностью к интеграции в сторонние приложения благодаря грамотно организованной системе конфигурирования. Высокую практическую ценность имеют как алгоритмы, так и, особенно, специальные программные средства для создания нейроморфных систем управления, которые позволяют проводить исследование предложенных моделей и архитектур. По каждой

главе и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат правильно отражает содержание и результаты диссертации. В целом диссертационная работа А.В. Бахшиева представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Диссертационная работа соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, А.В. Бахшиев заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации» (технические системы).

Соискатель имеет 41 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 12 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 7 работ, из них опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, - 5, входящих в международную систему цитирования Scopus и/или Web of Science - 2.

Основные научные результаты реализованы в 3 научно-исследовательских работах ЦНИИ РТК, 2 опытно-конструкторские работы ЦНИИ РТК, 41 научный труд общим объемом 38,33 п.л., из которых 34 статьи объемом 37,37 п.л., выполнены в соавторстве, а 7 статей объемом 0,96 п.л. – лично; 18 свидетельств РФ о регистрации программы для ЭВМ в соавторстве, из них 3 – по теме диссертации: № 2012610484 «Библиотека управления алгоритмами видеоанализа с универсальным интерфейсом обмена данными» 10.01.2012, №2015612225 «Программа макета определения параметров относительного движения объекта по изображению, формируемому телевизионной камерой» 16.02.2015, №2016612248 «Программа системы кругового обзора для супервизорного управления беспилотным объектом» 20.02.2016. Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. **Бахшиев, А.В.** Методические основы проектирования систем поддержания динамической устойчивости для реабилитации пациентов с нейромоторными заболеваниями / **А.В. Бахшиев**, Е.Ю. Смирнова, П.Е. Мусиенко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – №10 (171), октябрь. – С. 201-213
2. **Бахшиев, А.В.** Воспроизведение реакций естественных нейронов как результат моделирования структурно-функциональных свойств мембраны и организации синаптического аппарата / **А.В. Бахшиев**, С.П. Романов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2012. – №7. – С.25-35

3. **Бахшиев, А. В.** Перспективы применения моделей биологических нейронных структур в системах управления движением / **А. В. Бахшиев** // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2011. – №9. – С 71-80
4. **Бахшиев, А.В.** Моделирование процессов преобразования импульсных потоков в нейронных структурах управления мышечным сокращением / **А.В. Бахшиев, С.П. Романов** // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – №11. – С.70-79
5. **Бахшиев, А.В.** Математическое моделирование процессов преобразования импульсных потоков в естественном нейроне / **А.В. Бахшиев, С.П. Романов.** // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – №3. – С.71-80
6. **Bakhshiev, A.V.** Mathematical Model of the Impulses Transformation Processes in Natural Neurons for Biologically Inspired Control Systems Development / **A.V. Bakhshiev, F.V. Gundelakh** // Supplementary Proceedings of the 4th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST-SUP 2015), April 9-11. – Yekaterinburg, Russia, 2015. Published on CEUR-WS. – Vol. 1452. – P. 1-12. Scopus. – 15.10.2015. Online: <http://ceur-ws.org/Vol-1452/>
7. **Bakhshiev, A.V.** The model of the robot's hierarchical behavioral control system / **A.V. Bakhshiev, F.V. Gundelakh** // Proceedings of the 13th International Symposium on Neural Networks, ISNN 2016, St. Petersburg, Russia, July 6–8, 2016. Published on Advances in Neural Networks – ISNN 2016. – P.317-327. Scopus
8. **Бахшиев, А.В.** Моделирование иерархической спайковой нейронной сети для управления поведением мобильных роботов / **А.В. Бахшиев, Ф.В. Гунделах** // Всероссийская научно-техническая конференция “Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2016”: Сборник научных трудов. – 2016. – С. 43-48
9. **Бахшиев, А.В.** Исследование метода запоминания пространственных конфигураций робототехнической системы на нейронных сетях со структурной адаптацией / **А.В. Бахшиев, Ф.В. Гунделах** // Робототехника и техническая кибернетика. Изд-во ЦНИИ РТК. – 2015. – №3(8). – С.46-51
10. **Бахшиев, А.В.** Разработка и исследование бионической модели нейронной сети для управления движением робототехнических систем / **А.В. Бахшиев, Ф.В. Гунделах** // Исследования наукограда : Изд-во ООО «Умный город». – 2015. – №3(13). – С.31-35

11. Гунделах, Ф.В. Исследование модели нейронной сети со структурной адаптацией для согласованного управления движением нескольких степеней подвижности робота / Ф.В. Гунделах, **А.В. Бахшиев** // Сборник трудов научного форума с международным участием «Неделя науки СПбПУ» материалы научно-практической конференции. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. – Часть 2. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 407-409
12. Нейроморфные системы управления роботами / **А.В. Бахшиев**, И.В. Клочков, В.Л. Косарева, Л.А. Станкевич // Робототехника и техническая кибернетика. – Изд-во ЦНИИ РТК. – 2014. – №2(3). – С.40-44.

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 93% от общего объёма текста; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов, все отзывы положительны:

1) Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН. Отзыв составил старший научный сотрудник лаборатории физиологии движений, к.т.н. Ляховецкий В.А. Замечания: схема классического формального нейрона представлена не только на рис.1.1, но и на рис. 1.2. Введение обратной связи в формальную нейронную сеть широко используется в различных классах сетей (автоассоциативные, гетероассоциативные сети). В автореферате указано, что проведены эксперименты по запоминанию траекторий движений. Однако указан лишь сам факт проведения таких экспериментов, но результаты этих не приведены.

2) Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Отзыв составили заведующий кафедрой безопасности информационных систем, д.т.н., профессор Мещеряков Р.В. Замечания: из автореферата следует, что пластичность нейроморфной сети на импульсных нейронах определяется способностью оперативного изменения их структуры, но недостаточно сказано о возможности настройки связей нейронов путём параметрического обучения, которое является базовым в традиционных нейронных сетях. В автореферате описаны

преимущества разработанного специального программного обеспечения, однако не раскрыты его ограничения.

3) Нижегородский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Отзыв составил профессор кафедры информационных систем и технологий, д.т.н., доцент Савченко А.В. Замечания: Несмотря на наличие достаточно большого числа актов о практическом использовании результатов работы, в автореферате не приведены результаты сравнительного анализа предложенной модели нейрона с известными моделями для прикладных задач управления и принятия решений. В автореферате не уделено достаточного внимания описанию методов последовательного, поэтапного применения разработанных моделей при проектировании систем управления и обработки информации. В тексте автореферата присутствуют опечатки и грамматические ошибки («опытно-конструкторского», «Манипулятора.Качество»).

4) ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) МАИ». Отзыв составил ведущий научный сотрудник, к.т.н., доцент Тюменцев Ю.В. Замечания: в автореферате нейроморфные системы выделены как системы, моделирующие функции некоторых отделов мозга, но не сказано, какие конкретно функции может моделировать предложенный вариант системы. Кроме того, из автореферата неясно, могут ли настраиваться параметры сети на импульсных нейронах путём обучения.

5) НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Академии биологии и биотехнологии Южного федерального университета. Отзыв составили ведущий научный сотрудник, к.т.н. Шапошников Д.Г. и старший научный сотрудник, к.т.н. Шепелев И.Е. Замечания: следует отметить, что перегруженность описаний формульных обозначений (вторая и третья глава) почти не оставляет места в автореферате для описания экспериментальной части работы (глава 5) и затрудняет понимание из автореферата последующего материала, что не позволяет достаточно аргументированно оценить эффективность приложения нейроморфных структур для решения задач анализа сенсорной информации и управления динамическими объектами.

6) ФГОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». Отзыв составил доцент кафедры «вычислительные системы и технологии», к.т.н., доцент Гай В.Е. Замечания: несмотря на высокий уровень работы, следует сделать замечание: в работе не рассматривается возможность использования предложенной модели искусственного нейрона со структурной адаптацией к решению задачи распознавания образов.

7) Институт трансляционной биомедицины Санкт-Петербургского государственного университета. Отзыв составил профессор, руководитель лаборатории нейропротезов, д.м.н. Мусиенко П.Е. Замечания: в качестве замечания можно отметить, что в автореферате не делается сравнение разработанных автором моделей нейронов с существующими и описанными в литературе моделями. Обращает на себя внимание излишняя сложность и недостаточная лаконичность при формулировке некоторых ключевых положений диссертации, например, цели исследования.

8) Центр трансляционных технологий Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Отзыв составил Кандидат физико-математических наук Гордлеева С.Ю. Замечания: в автореферате недостаточно раскрыта тема обучения нейронных сетей на основе предложенных моделей нейронов.

9) Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Отзыв составил доцент кафедры «Кибернетика», к.т.н. Мишулина О.А. Замечания: автор совершенно справедливо отмечает актуальность поставленной в диссертации задачи и проведённого исследования. Однако он чрезмерно кратко представил в автореферате современное состояние работ по вопросам теории, по архитектурным решениям и приложениям импульсных нейросетей. В этом отношении можно назвать, к примеру, серию работ М.В. Киселева по разным аспектам теории и приложений нейросетей на импульсных нейронах. Отличительной особенностью разработанной А.В. Бахшиевым новой модели нейрона является возможность его структурной настройки к условиям и задачам функционирования, обеспечение структурной пластичности нейросети. Однако новые алгоритмы структурной адаптации нейроморфной системы представлены в автореферате лишь на качественном описательном уровне. В

автореферате не приведены формальные принципы реализации динамической структурной адаптации системы в интересах заданной прикладной задачи.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н., доцент Потапов А.С. является известным ученым в области формализованных методов построения интеллектуальных систем управления и машинного обучения; к.т.н., Никонов А.Н. – специалист в области применения искусственных нейронных сетей в решении задач управления; ведущая организация, Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук, является известной как в России, так и за рубежом организацией в области физики и биоинформатики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** оригинальные модели и алгоритмы построения иерархических нейроморфных систем, отличающиеся от существующих алгоритмов возможностью изменения структуры нейронной сети, что позволяет решать некоторые задачи адаптации к изменяющимся условиям без переобучения нейронной сети, лежащей в основе нейроморфной системы;

**предложены:**

- модель нейрона, как функционального элемента нейроморфных систем, которая отличается от существующих моделей возможностью не только параметрической, но и структурной настройкой, в процессе которой изменяется число преобразующих и связывающих элементов, описываемых дифференциальными уравнениями, что позволяет проводить существенно более сложный анализ сигналов на одном нейроне в отличие от существующих технических (формальных) нейронов;
- новая иерархическая архитектура нейроморфных систем, обеспечивающая возможность изменять количество входных и выходных сигналов каждого уровня иерархии, которая позволяет динамически наращивать объем обобщаемой и запоминаемой информации;
- алгоритмы структурной настройки нейроморфных систем, позволяющие описывать адаптацию к изменяющимся условиям функционирования через изменение



структуры модели нейрона, вследствие чего функциональным элементом системы становится не нейрон, а участок связывающих и преобразующих элементов нейрона, на котором осуществляется пространственное и временное суммирование сигналов;

**доказана** перспективность использования предложенных моделей и алгоритмов для создания новых систем управления и обработки информации, которые отличаются от существующих большей пластичностью, возможностью изменять топологию нейронных сетей во время работы, что позволяет более гибко адаптироваться к изменениям в среде, в которой функционирует система;

**введены:**

- новые понятия структурной адаптации и нейроморфных систем, которые определяют новые возможности для более гибкой настройки таких систем на решение задач управления поведением динамических объектов;

- новый термин участка мембраны искусственного нейрона, который обеспечивает более адекватное понимание сущности построенной модели нейрона и способа его настройки в системе;

- новые группы показателей, позволяющих оценить степень пригодности различных моделей искусственных нейронов для построения нейроморфных систем.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**раскрыты** проблемные аспекты применения имеющихся подходов в области разработки современных нейросетевых и нейроморфных систем управления и обработки информации. Основные вопросы связаны с отсутствием методов и алгоритмов динамической структурной адаптации искусственных нейронных сетей к изменяющимся условиям функционирования. А также слабая проработанность нейросетевых архитектур, обеспечивающих полный цикл обработки информации от сенсоров до влияния на среду через эффекторы, в противовес классическим решениям, в которых нейронная сеть используется для решения некоторой частной задачи в контексте заданном обучающей выборкой;

**изучены** существующие биоподобные модели нейронов и **показаны** преимущества предложенной в диссертации модели нейрона как элемента нейроморфных систем управления и обработки информации;

**доказана** применимость предложенных в работе моделей, нейроморфных систем и алгоритмов для исследования структурных особенностей биологических нейронных сетей, описания их динамических свойств, построения моделей таких сетей и их применения при создании биологически инспирированных систем, решающих технические задачи;

**использованы** методы теории автоматического управления и математического моделирования; методы структурного и объектно-ориентированного анализа и программирования; предложенные решения отработаны с помощью компьютерного моделирования и экспериментальных исследований конкретных систем.

**изложены** методологические и методические основы использования новых моделей, алгоритмов и нейроморфных систем в задачах управления;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** (указать степень внедрения) следующие результаты диссертационной работы:

1) разработаны и внедрены основные модули программной платформы системы технического зрения; разработаны архитектуры нейронных сетей, математических моделей и алгоритмов для управления движением. Эти результаты использованы в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

2) Теоретические положения и практические результаты были использованы при разработке разделов дисциплин магистерской программы по направлению 09.04.02 «Интеллектуальные системы и технологии» по профилю 09.04.02\_04 «Системный анализ и оптимизация информационных систем и технологий», реализуемой на кафедре 35/02 «Системный анализ и управление» ИКТН СПбПУ. Кроме того, разработанный пакет программ моделирования нейронных сетей и импульсных нейронов со структурной адаптацией используется при проведении лабораторных работ по тематике нейронных сетей при изучении дисциплины «Интеллектуальные системы и технологии» в рамках бакалаврской программы 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

3) Разработанные в ходе работы над диссертацией алгоритмы и специальное программное обеспечение для моделирования динамических систем со структурной адаптацией использовалось для создания систем технического зрения, в частности, системы интеллектуального видеонаблюдения, системы технического зрения мобильного робота, системы определения пространственной ориентации космических кораблей в ходе сближения и стыковки с МКС и др.;

**создано** специальное программное обеспечение, позволяющее моделировать нейроморфные системы с изменяемой во время выполнения структурой и топологией связей. Преимуществом разработанного программного обеспечения является:

- возможность быстрого создания новых алгоритмических решений на базе уже созданных библиотек компонент,
- унификация описания входов, выходов, параметров и переменных состояния каждого алгоритма,
- малые накладные расходы на взаимодействие между компонентами, реализующими отдельные алгоритмы, что позволяет создавать гибкие системы, функционирующие в реальном времени,
- унифицированный пользовательский интерфейс, позволяющий проводить мониторинг и управление разрабатываемой системой;

**представлены** предложения и направления для дальнейших научных исследований, в основу которых могут быть положены разработанные модели нейронов и нейроморфных систем и алгоритмы их настройки.

Достоверность результатов определяется строгостью используемого в работе математического аппарата, обоснованностью применяемых методов, математическим обоснованием эффективности, сравнительным анализом результатов, полученных в диссертационной работе с имеющимися в литературе данными;

**для экспериментальных работ** воспроизводимость результатов многократных экспериментов, выполненных на сертифицированном современном оборудовании. Достоверность полученных результатов подтверждена проведением всестороннего анализа работ по исследуемой проблеме, корректным применением научно-методического аппарата в виде использованных методов и теорий, согласованностью

теоретических положений и выводов с результатами экспериментальной проверки предложенных моделей и алгоритмов при помощи разработанного программного средства, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы;

**теория** построена на известных принципах, проверенных данных и фактах с использованием современных известных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе работ отечественных и зарубежных исследователей в области синтеза моделей нейронов и систем на их основе, методов оценки характеристик систем; на обобщении передового опыта в этой области;

**использованы** полученные экспериментальные результаты для сравнения с данными, приведенными в современной научной литературе по моделям нейронов и нейронных сетей;

**установлено** качественное и количественное соответствие результатов решения задачи разработки инструментария, обеспечивающего эффективное оперирование знаниями о технологиях компьютерными средствами, в целях анализа технологий производства продукции с результатами, полученными с использованием стандартных методов формализованного описания технологий. При этом подтверждено преимущество решения задач анализа технологий на основе предложенного подхода перед результатами, полученными другими авторами.

**Все основные результаты диссертационной работы получены лично автором диссертации.**

Диссертационный совет считает, что Бахшиев А.В. в своей диссертационной работе решил научную задачу разработки моделей элементов, архитектур, алгоритмов и программных средств моделирования нейроморфных систем управления и обработки информации в целях создания систем, обеспечивающих возможность изменения структуры связей элементов во время функционирования для адаптации к изменяющимся условиям, имеющую важное социально-экономическое и хозяйственное значение.

На заседании 25.05.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Бахшиеву А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета

доктор технических наук,

член-корреспондент РАН

Юсупов Рафаэль Мидхатович

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук

Кулешов Сергей Викторович

25.05.2017 г.