

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.04

Соискатель: Егорчев Михаил Вячеславович

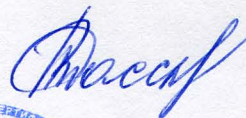
Тема диссертации: Полуэмпирическое нейросетевое моделирование нелинейных динамических систем

Специальность: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 28 июня 2019 года (протокол № 3) диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Егорчева М. В. «Полуэмпирическое нейросетевое моделирование нелинейных динамических систем» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Егорчеву Михаилу Вячеславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: Наумов А. В. – *председатель*, Кибзун А. И. – *зам. председателя*, Рассказова В. А. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Бардин Б. С., Битюков Ю. И., Бортаковский А. С., Грумондз В. Т., Кан Ю. С., Колесник С. А., Короткова Т. И., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Куравский Л. С., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Семенихин К. В., Сеницин В. И., Сиротин А. Н., Формалев В. Ф., Хрусталев М. М.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н.

 В. А. Рассказова



Отдела УДС МАИ



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.06.2019 № 3

О присуждении Егорчеву Михаилу Вячеславовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Полуэмпирическое нейросетевое моделирование нелинейных динамических систем» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «26» апреля 2019 года, протокол № 1, диссертационным советом Д 212.125.04, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016, № 1017/нк от 20.10.2017, № 272/нк от 27.03.2019.

Соискатель Егорчев Михаил Вячеславович, 1990 года рождения, в 2013 году окончил Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) по специальности «Прикладная математика и информатика». В период подготовки диссертации Егорчев М. В. обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по программам подготовки научно-педагогических кадров в системе послевузовского профессионального

образования по научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» с 15.05.2013 г. по 14.05.2017 г., а также с 01.04.2019 г. по 31.08.2019 г. Соискатель с июня по ноябрь 2013 года работал младшим научным сотрудником НИО 106 (МАИ). Затем, с января по сентябрь 2014 года работал инженером I-й категории ОАО «МИЭА» (Московский Институт Электромеханики и Автоматики). С июля 2015 года по настоящее время работает старшим программистом-исследователем в ООО «РобоСиВи».

Диссертация выполнена на кафедре 806 «Вычислительная математика и программирование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – Тюменцев Юрий Владимирович, д.т.н., профессор по внутривузовскому совместительству кафедры 806 «Вычислительная математика и программирование» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Официальные оппоненты:

1. Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НОЦ И. Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»;
2. Васильев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Оппоненты дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук».

В положительном отзыве ведущей организации указано, что диссертационная работа представляет собой завершённую и целостную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне.

Полученные в работе результаты новы и представляют как теоретический, так и практический интерес.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., проф. Кузнецова Геня Владимировича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Показано, что полуэмпирические модели нелинейных управляемых динамических систем существенно превышают по своим обобщающим свойствам традиционные динамические НС-модели типа NARX. В связи со все возрастающей значимостью сетей глубокого обучения, так же как и NARX, относящихся к моделям типа «черный ящик», следовало бы провести аналогичное сравнение и с динамическими сетями глубокого обучения.

2. Кроме того, целесообразно было бы оценить перспективы перехода к полуэмпирическому моделированию в классе динамических сетей глубокого обучения.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.т.н., доц. Васильева Александра Николаевича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Предметом изучения в диссертации являются управляемые ДС с сосредоточенными параметрами, традиционными моделями для которых являются системы ОДУ. Однако среди прикладных систем важное место занимают также системы с распределенными параметрами, описываемые уравнениями в частных производных. Хотелось бы в перспективе видеть развитие предлагаемого диссертантом аппарата и на случай систем с распределенными параметрами.

2. В качестве НС-архитектуры традиционного типа (т.е. типа «черный ящик») в диссертации рассматривается сети NARX, т.е. нелинейная авторегрессия с внешними входами. Эта сеть не учитывает внешних воздействий случайного характера на моделируемый объект, тогда как такие

воздействия могут играть существенную роль. По этой причине представляется, что было бы целесообразно для сравнения полуэмпирических НС-моделей привлекать не только сети типа NARX, но и сети другого типа, например, NARMAX, учитывающие указанные воздействия.

3. В обзоре научной литературы по теме диссертации и списке литературы указаны ссылки на некоторые работы А.Н. Васильева и Д.А. Тархова, посвященные вопросам, обсуждаемым в диссертационной работе, таким, как нейросетевое моделирование реальных объектов по разнородной обновляемой информации, полуэмпирические нейросетевые модели, многослойные функциональные системы и др. Однако анализ, проведенный диссертантом, недостаточно глубок. Хотелось бы привлечь его внимание к возможностям многослойных функциональных систем в построении нейросетевых моделей, в решении некорректных задач.

Отзыв на диссертацию ведущей организации.

Ведущая организация дала положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подписан руководителем Центра оптико-нейронных технологий НИИСИ РАН, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, Крыжановским Борисом Владимировичем. Отзыв утвержден директором ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, доктором технических наук, Власовым Сергеем Евгеньевичем. Замечание по диссертации:

1) При решении задач моделирования для реальных динамических систем большое значение имеет возможность учета возмущающих воздействий случайного характера на их поведение. В диссертации такой учет осуществлен только для случайных воздействий на результаты измерений состояний системы (измерительных шумов), в то время как такие воздействия на моделируемую систему обычно происходят и в процессе ее функционирования (например, воздействие атмосферной турбулентности на летательный аппарат в задаче моделирования его полета). Аналогично обстоит дело и с задачей идентификации характеристик исследуемой системы, результаты решения которой также подвержены воздействию случайных факторов, которые имели место при получении исходных данных для данной задачи. Было бы целесообразно при формировании полуэмпирической нейросетевой модели учитывать и факторы такого вида как это, например, делается в сетях типа NARMAX.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН).

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, заведующим сектором математического моделирования нелинейных процессов в гелио/геофизике Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, Макаренко Николаем Григорьевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

1) рассматриваются лишь детерминированные нейросетевые модели динамических систем. Это обстоятельство сужает область применимости предложенного подхода. В частности, в задаче моделирования движения летательного аппарата, не могут быть учтены, например, порывы ветра, турбулентные потоки и другие стохастические по своей природы факторы.

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором кафедры Вычислительной техники Института космических и информационных технологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Кошуром Владимиром Дмитриевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

1) в задаче планирования эксперимента не было произведено сравнения применяемого метода эволюционной стратегии с адаптацией матрицы ковариации с иными эвристическими методами, в частности, с методом роя частиц.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет».

Отзыв подписан доктором технических наук, заместителем первого проректора по учебной работе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Захаровой Аленой Александровной, а также

кандидатом технических наук, заведующим кафедрой Информатики и программного обеспечения ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Подвесовским Александром Георгиевичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) не представлены данные о времени обучения нейронной сети, а также технические характеристики используемых для этой цели ЭВМ;
- 2) учитывая современные подходы к обработке больших данных, было бы целесообразно рассмотреть вопрос распараллеливания вычислений с использованием графических процессоров.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет».

Отзыв подписан кандидатом технических наук, директором Института информационных технологий и управления в технических системах Севастопольского государственного университета, Бондаревым Владимиром Николаевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

- 1) предложенный алгоритм обучения на основе метода гомотопии с варьируемой величиной горизонта прогноза не был продемонстрирован на упрощенном, показательном примере, что позволило бы нагляднее проиллюстрировать его свойства.

5. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией нейронных систем и глубокого обучения Московского физико-технического института (государственного университета), Бурцевым Михаилом Сергеевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

- 1) не приведен сравнительный анализ предложенных полуэмпирических нейросетевых моделей динамических систем с такими распространенными моделями, как LSTM и GRU, предназначенными для преодоления проблемы затухающего градиента.

6. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Отзыв подписан кандидатом технических наук, профессором Высшей школы киберфизических систем и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Станкевичем Львом Александровичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) чересчур краткое описание структуры разработанного программного комплекса;
- 2) некоторые графики в тексте автореферата являются слишком мелкими для подробного изучения.

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Отзыв подписан доктором технических наук, доцентом Отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Гергет Ольгой Михайловной. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

- 1) в тексте автореферата отсутствуют данные о размере обучающего и тестового множества, а также о времени обучения нейронной сети для упомянутых вычислительных экспериментов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., Кузнецов Гений Владимирович работает главным научным сотрудником Научно-образовательного центра И. Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Область научных интересов – математическое моделирование динамических систем, численные методы решения уравнений математической физики, теплофизика, механика

жидкости и газа. Автор свыше 228 научных трудов, более половины из которых в журналах РАН, центральных изданиях и за рубежом. Автор 21 изобретения.

Официальный оппонент, д. т. н., Васильев Александр Николаевич – профессор кафедры «Высшая математика» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Область научных интересов – нейросетевое моделирование процессов и явлений в сложных системах по разнородной обновляемой информации, полуэмпирические нейросетевые модели. Автор более 100 научных работ, включая 3 монографии.

Выбор ведущей организации – Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» – обусловлен широким кругом проводимых фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований в области математического моделирования, а также высокопроизводительных и распределенных вычислений. В состав ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН входит Центр оптико-нейронных технологий, осуществляющий исследования в области теории и применений искусственных нейронных сетей, схем и моделей формирования интеллектуального адаптивного поведения, а также архитектур автономных когнитивных систем.

Соискатель имеет 21 опубликованную научную работу по теме диссертации, из которых 13 работ опубликованы в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (в том числе 7 работ опубликованы в журналах, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science). Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Егорчев М. В., Козлов Д. С., Тюменцев Ю. В., Чернышев А. В. Нейросетевые полуэмпирические модели управляемых динамических систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2013. — № 9. — С. 3–10.

2. Егорчев М. В., Козлов Д. С., Тюменцев Ю. В. Идентификация аэродинамических характеристик летательного аппарата: нейросетевой полуэмпирический подход // Вестник Московского Авиационного Института. — 2014. — Т. 21, № 4. — С. 13–24.
3. Егорчев М. В., Козлов Д. С., Тюменцев Ю. В. Моделирование продольного углового движения самолета: сопоставление теоретического, эмпирического и полуэмпирического подходов // Научный вестник МГТУ ГА. — 2015. — № 211. — С. 116–123.
4. Егорчев М. В., Козлов Д. С., Тюменцев Ю. В. Нейросетевое полуэмпирическое моделирование продольного короткопериодического движения маневренного самолета // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». — 2015. — № 1. — С. 53–60.
5. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Learning of semi-empirical neural network model of aircraft three-axis rotational motion // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). — 2015. — Vol. 24, № 3. — pp. 210–217. — (Scopus).
6. Егорчев М. В., Тюменцев Ю. В. Полуэмпирические нейросетевые модели управляемых динамических систем // Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование». — 2017. — Т. 13, № 4. — С. 241–255.
7. Егорчев М. В., Тюменцев Ю. В. Нейросетевой полуэмпирический подход к моделированию продольного движения и идентификации аэродинамических характеристик маневренного самолета // Труды МАИ. — 2017. — № 94. — С. 31–55.
8. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Neural Network Semi-empirical Modeling of the Longitudinal Motion for Maneuverable Aircraft and Identification of Its Aerodynamic Characteristics // Studies in Computational Intelligence. — 2018. — Vol. 736. — pp. 65–71. — (Scopus).
9. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Homotopy Continuation Training Method for Semi-Empirical Continuous-Time State-Space Neural Network Models // Studies in Computational Intelligence. — 2019. — Vol. 799. — pp. 115–120. — (Scopus).

10. Egorchev M. V., Kozlov D. S., Tiumentsev Yu. V. Neural network adaptive semi-empirical models for aircraft controlled motion // Proceedings of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (St. Petersburg, Russia). — Sept. 2014. — pp. 1–8. — (Scopus).
11. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Adaptive neural network based simulation of dynamical systems // CEUR Workshop Proceedings. — 2016. — Vol. 1761. — pp. 348–355. — (Scopus).
12. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Semi-empirical Neural Network Based Approach to Modelling and Simulation of Controlled Dynamical Systems // Procedia Computer Science. — 2018. — Vol. 123. — pp. 134–139. — (Scopus).
13. Egorchev M. V., Tiumentsev Yu. V. Neural network identification of aircraft nonlinear aerodynamic characteristics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Vol. 312, № 1. — pp. 1–5. — (Scopus, Web of Science).

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном диссертационном исследовании получены следующие **новые научные результаты**:

- полуэмпирический нейросетевой подход к математическому моделированию ДС распространен на случай непрерывного времени. Сформулированы и доказаны теоремы об аппроксимационных свойствах полуэмпирических НС-моделей;
- предложены два алгоритма оценки значений градиента и матрицы Гессе функции ошибки для полуэмпирической НС-модели в непрерывном времени, которые можно рассматривать как непрерывные версии алгоритмов прямого и обратного распространения во времени. Сформулирована и доказана теорема об оценке сверху для величины соответствующей погрешности в зависимости от величин шагов по времени;
- разработан численный алгоритм обучения полуэмпирических НС-моделей в непрерывном времени на основе метода продолжения решения по параметру с функцией гомотопии, в качестве параметра которой выступает величина горизонта прогноза;

- разработана методика оценки согласованности экспертной информации;
- разработан численный алгоритм планирования экспериментов для идентификации НС-моделей управляемых ДС, предполагающий декомпозицию управляющих сигналов на опорный маневр, максимизирующий критерий равномерности покрытия, и возмущающее воздействие, минимизирующее пик-фактор;
- разработан и зарегистрирован программный комплекс, реализующий предложенные численные алгоритмы. Эффективность программного комплекса подтверждается результатами вычислительных экспериментов для задачи моделирования управляемого движения маневренного самолета и идентификации его аэродинамических коэффициентов.

Теоретическая значимость исследования определяется следующими результатами. Класс полуэмпирических НС-моделей позволяет снизить количество настраиваемых параметров и повысить обобщающую способность эмпирических моделей посредством учета априорных теоретических знаний предметной области в структуре модели. Рассмотрение данных моделей в непрерывном времени позволяет повысить их гибкость с точки зрения возможности применения к ним различных численных методов интегрирования. Алгоритм обучения на основе метода продолжения решения по параметру с использованием функции гомотопии с регулируемой величиной горизонта прогноза позволяет эффективно обучать полуэмпирические НС-модели в непрерывном времени осуществлению прогноза поведения объекта моделирования на долгих сегментах времени, снижая чувствительность к начальному приближению для значений параметров. Алгоритм планирования экспериментов для идентификации НС-моделей управляемых ДС позволяет автоматизировать процесс сбора репрезентативного обучающего набора.

Практическая значимость работы заключается в том, рассмотренный класс моделей может быть применен к задачам идентификации и управления с прогнозирующей моделью для нелинейных, многомерных и нестационарных ДС. Таким образом, этот подход может быть использован для разработки систем управления движением перспективных маневренных БПЛА. В

соавторстве с Тюменцевым Ю. В. разработан и зарегистрирован соответствующий программный комплекс.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью применения математического аппарата, а также результатами многочисленных вычислительных экспериментов. В качестве примера рассматривается задача моделирования движения маневренного самолета и идентификации его аэродинамических коэффициентов.

Личный вклад. Все положения диссертации, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Егорчева Михаила Вячеславовича является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены важные результаты в области разработки математических моделей, алгоритмов решения задач оптимизации, вычислительных алгоритмов и программных комплексов. **Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».**

На заседании 28 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Егорчеву М. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
Д 212.125.04, д.ф.-м.н., доцент

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н.

В. А. Рассказова



28 июня 2019 г.