

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.14  
по диссертации Бахтина Вадима Вячеславовича  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Метод синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing» по специальности 2.3.2. Вычислительные системы и их элементы принята к защите «27» апреля 2023 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.14, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) от «27» января 2022 г. № 4-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматика и телемеханика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Тюрин Сергей Феофентович, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

**Официальные оппоненты:**

1. Виноградов Геннадий Павлович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информатика и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,

2. Соколова Юлия Васильевна, кандидат технических наук, ведущий специалист АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ), г. Курск (отзыв ведущей организации утвержден проректором по науке и международной деятельности, доктором технических наук, доцентом Титовым Дмитрием Витальевичем, заслушан на расширенном заседании кафедры «Вычислительная техника» (ВТ) и подписан председателем семинара, доктором технических наук, доцентом, зав. кафедрой ВТ Чернецкой Ириной Евгеньевной, Ватутиным Эдуардом Игоревичем, доктором технических наук, доцентом, доцентом кафедры ВТ, Панищевым Владимиром Славиевичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры ВТ, секретарем семинара.

По теме диссертации соискателем опубликовано **20** научных трудов, в том числе **5** работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, **3** работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (Scopus); соискателем получено **2** свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бахтин, В.В. Математическая модель искусственной нейронной сети для устройств на ПЛИС и микроконтроллерах, ориентированных на туманные вычисления / В.В. Бахтин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника. Информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 40. – С. 109–129.

2. Bakhtin, V.V. Algorithm for Decomposition of a Monolithic Neural Network into a Cascade of Block Neural Networks for the Fog Computing / V.V. Bakhtin // 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – 2022. – P. 238–241. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755533. (Scopus)

3. Бахтин, В.В. Метод синтеза устройств нейросетевого распознавания на программируемой логике для реализации режима fog computing / В.В. Бахтин, С.Ф. Тюрин, И.А. Подлесных // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника. Информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 168–188.

4. Бахтин, В.В. Решение задачи многокритериальной оптимизации вариантов декомпозиции нейронной сети и компоновки каскада вычислительных устройств методом Парето / В.В. Бахтин, И.А. Подлесных, С.Ф. Тюрин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника. Информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 43. – С. 136–156.

В данных работах соискатель представил основные результаты своей исследовательской деятельности: провел анализ существующих математических моделей и методов, выделил их недостатки, разработал и представил собственную математическую модель распределенной нейронной сети для туманных вычислений; представил разработанный метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления; разработал и описал алгоритмы декомпозиции монолитной нейронной сети на каскад блоков выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах, провел их оценку и привел доказательство эффективности предложенных алгоритмов; внедрил предложенный метод в существующую вычислительную систему.

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

**разработана научная идея, обогащающая концепцию синтеза нейросетевых устройств для реализации нейронных сетей на основе распределения обработки информации между вычислительными системами и их элементами, что позволяет снизить затраты и энергопотребление, а также повысить отказоустойчивость;**

**предложен оригинальный подход к декомпозиции нейронных сетей, позволяющий учесть, как исходную архитектуру вычислительной системы, так и предпочтительные параметры реализации распределенной нейронной сети;**

**доказаны связи между способами декомпозиции нейронной сети и эффективностью распределения задач между их элементами, что отражено в разработанной математической модели вычислительных систем и их элементов.**

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказаны положения о том, что эффективное перераспределение свободных вычислительных ресурсов приводит к тому, что возникает возможность решения дополнительных задач на основе существующих устройств;**

применительно к проблематике диссертации результативно **использован комплекс базовых методов теории искусственных нейронных сетей, дискретной**

математики, математической логики и теории алгоритмов для разработки модели распределенной нейронной сети и алгоритмов декомпозиции для поиска оптимального решения;

изложены положения, составляющие основу метода синтеза нейросетевых устройств для реализации туманных вычислений, доказательства эффективности разработанного метода, условия и рекомендации для практического применения разработанной методики;

раскрыты несоответствия между неполным использованием вычислительных мощностей существующих архитектур вычислительных систем и потребностью в решении новых задач с привлечением дополнительных вычислительных устройств, позволяющие сделать вывод о необходимости разработки эффективного метода синтеза нейросетевых устройств для реализации распределенных нейронных сетей;

проведена модернизация существующих математических моделей и алгоритмов реализации распределенных нейронных сетей, а также разработка нового метода и алгоритмов синтеза нейросетевых устройств для реализации распределенных сетей, что обеспечило основу для улучшения эксплуатационных показателей вычислительных систем и их элементов в заданных условиях функционирования.

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

разработано и внедрено информационное и программное обеспечение, реализующее декомпозицию монолитной нейронной сети различными способами, и позволяющее осуществить распределенный запуск блочной нейронной сети в рамках прототипа системы биометрической идентификации, вошедшего в состав модифицированного программно-аппаратного комплекса зала пленарных заседаний органов государственной власти (степень внедрения – прототип), что позволило уменьшить затраты на создание прототипа системы, а также сократить энергопотребление прототипа системы биометрической идентификации. Предложенные научные основы и разработанная методика синтеза нейросетевых устройств нашли применение в дисциплинах бакалавриата, реализуемых в ПНИПУ;

определены перспективы практического применения и развития разработанных модели, метода и алгоритмов синтеза устройств реализации распределенных нейронных сетей;

созданы рекомендации по использованию разработанных метода и алгоритмов синтеза устройств реализации распределенных нейронных сетей в зависимости от характеристик вычислительных систем и условий их эксплуатации;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных модели, метода и алгоритмов с учетом специфики реализации и условий эксплуатации элементов вычислительных систем.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследования в условиях моделирования и при применении разработок в реальной вычислительной системе, а также сходимость полученных результатов;

теория построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т. ч. согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе существующих моделей, методов и алгоритмов синтеза нейросетевых устройств для реализации распределенных нейронных сетей, выявленных недостатках и возможности их устранения;

использованы результаты сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

использованы современные прикладные программные средства, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения, а также последующей верификации.

Личный вклад соискателя состоит в анализе публикаций по теме исследования, выявлении недостатков, разработке новой математической модели распределенной нейронной сети, метода синтеза устройств реализации нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, реализации алгоритмов декомпозиции монолитной нейронной сети на каскад блоков блочной нейронной сети и выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети, проверке и обосновании эффективности разработанных методики и алгоритмов, разработке информационного и программного обеспечения для внедрения результатов диссертационного исследования в существующую информационную систему.

**Диссертационный совет пришел к выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным

приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней изложены новые научно обоснованные технические решения по улучшению эксплуатационно-технических показателей вычислительных систем и их элементов на основе декомпозиции искусственной нейронной сети и реализации полученных блоков в каскаде нейросетевых устройств, имеющие важное значение для совершенствования отечественной информационной инфраструктуры.

На заседании «30» июня 2023 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.14 принял решение присудить Бахтину Вадиму Вячеславовичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 8).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – 1, не участвовавших в голосовании – нет.

Председатель диссертационного совета  
Д ПНИПУ.05.14.

д-р техн. наук, профессор

/ Южаков Александр Анатольевич /

Ученый секретарь дисс.  
Д ПНИПУ.05.14,

д-р техн. наук, доц.

/ Фрейман Владимир Исаакович /

«30» июня 2023 г.

М.п.

