

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
доктор физико-математических наук, доцент



Швейкин А.И.

А.И. Швейкин

2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Метод синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Автоматика и телемеханика».

В 2018 году соискатель **Бахтин Вадим Вячеславович** окончил специалитет Пермского государственного национального исследовательского университета по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность» с присуждением квалификации специалист. В 2022 году соискатель окончил аспирантуру Пермского национального исследовательского политехнического университета по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Тюрин Сергей Феофентович, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения представленной работы принято следующее заключение.

Представленная Бахтиным Вадимом Вячеславовичем диссертация посвящена разработке моделей, методов и алгоритмов улучшения эксплуатационных характеристик вычислительных систем и их элементов.

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- проведен анализ существующих моделей, методов и алгоритмов декомпозиции искусственных нейронных сетей в вычислительных системах различных конфигураций;

- разработана математическая модель искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления;

- разработаны усовершенствованный метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, и его модификация, позволяющая обеспечить отказоустойчивость;

- разработаны алгоритм преобразования классической нейронной сети в нейронную сеть, адаптированную для туманных вычислений в устройствах, и алгоритм выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах;

- внедрены в производство: предложенная математическая модель, метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, разработанные алгоритмы (внедрение происходило на предприятии ЗАО «Проминформ»).

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- Сформулирована *математическая модель искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления, отличающаяся* от существующих тем, что с ее помощью возможно балансировать размеры декомпозированных блоков нейронной сети в зависимости от характеристик физических устройств, входящих в вычислительный каскад. Математическая модель *позволяет* учитывать требуемую загрузку вычислительных узлов при распределении блоков нейронной сети между различными устройствами.

- Разработан *метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, отличающийся* от существующих тем, что учитывает параметры: мощность устройств, оптимальный объем передаваемых между устройствами данных, возможность учета пропорциональности блоков нейронной сети по слоям или по нейронам, а также имеет возможность реализации функционального резервирования. Разработанный метод *позволяет* значительно снизить нагрузку на те вычислительные узлы, которые требуется разгрузить в рамках задачи и продолжать работу даже в случае отказа или сбоя части устройств в каскаде.

- Предложен *алгоритм декомпозиции монолитной нейронной сети на каскад блоков блочной нейронной сети, адаптированной для туманных вычислений, отличающийся* от существующих тем, что предлагает способ унификации хранения в памяти монолитной нейронной сети и блоков блочной нейронной сети. Предложенный алгоритм *позволяет* проводить многократную декомпозицию в глубину, например, если потребуется декомпонировать отдельный блок еще на несколько блоков.

- Создан *алгоритм выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах, отличающийся* от существующих тем, что он реализует многокритериальную оптимизацию путем нахождения Парето-оптимальных вариантов. Созданный алгоритм *позволяет* находить оптимальную декомпозицию монолитной нейронной сети сразу по нескольким важным для вычислительной системы параметрам.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается соответствием результатов, представленных в научных работах других исследователей, а также сопоставлением результатов теоретических выводов, экспериментов, полученных при помощи моделирования, и результатов внедрения.

4. Практическая значимость исследования:

Предложенный инструментарий в виде модели, метода, алгоритмов реализован и внедрен в составе аппаратного и программного обеспечения элементов вычислительных систем, реализующих распределенные нейронные сети. По основным показателям отмечено, что внедрение результатов работы позволило:

- снизить затраты на создание прототипа системы биометрической идентификации на 27% (акт внедрения ЗАО «Проминформ»);
- сократить энергопотребление прототипа системы биометрической идентификации на 12,7% (акт внедрения ЗАО «Проминформ»);
- внедрить результаты работы в учебный процесс кафедры «Автоматика и телемеханика» (акт внедрения в учебный процесс ФГАОУ ВО «ПНИПУ»).

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Основные результаты изложены в 20 публикациях, из них 5 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, 3 публикации в трудах международной конференции, индексированных в МБЦ Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научные статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

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

В статье представлена разработанная математическая модель искусственной нейронной сети для туманных вычислений, ориентированных на туманные вычисления. В.В. Бахтиным создана математическая модель для расчета основных показателей и получения декомпозированного представления многослойной нейронной сети. Продемонстрированы примеры описания монолитных нейронных сетей с помощью представленной модели. Было проведено исследование математической модели для декомпозиции многослойных нейронной сети с различными параметрами и по результатам моделирования были сделаны выводы о возможностях улучшения модели для работы с различными архитектурами нейронных сетей.

2. Бахтин В.В. Алгоритм разделения монолитной нейронной сети для реализации туманных вычислений в устройствах на программируемой логике. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника. Информационные технологии, системы управления, 2022, № 41, С. 123–145.

В статье представлен разработанный алгоритм декомпозиции монолитной нейронной сети для реализации туманных вычислений в устройствах на программируемой логике. В.В. Бахтиным был проведен аналитический обзор существующих методов и алгоритмов реализации распределенных нейронных сетей. Был разработан алгоритм функционирования распределенной блочной нейронной сети, реализованы различные варианты алгоритма декомпозиции в зависимости от задаваемых входных параметров. Соискателем были проведены эксперименты, результаты которых показали преимущества разработанных модели и алгоритма декомпозиции.

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

В статье соавторов представлен разработанный метод синтеза устройств нейросетевого распознавания на программируемой логике для реализации режима fog computing. В.В. Бахтиным была использована математическая модель искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления. Соискателем разработана программная модель, реализующая разработанный метод. В.В. Бахтин разработал и описал данный метод, разработал программную реализацию данного метода. Соискатель представил результаты сравнительных экспериментов, показывающих преимущества использования описанного метода при декомпозиции монолитных нейронных сетей. (Вклад соискателя 65 %).

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

В статье соавторов представлены результаты разработки и внедрения усовершенствованного метода синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления. В.В. Бахтиным показано, что для решения многокритериальной задачи оптимизации необходимо осуществить декомпозицию нейронной сети с различными параметрами и на различных архитектурах кластера вычислительных устройств. Проанализированы полученные варианты вычислительных систем. Обоснован конкретная реализация с помощью Парето-оптимизации. Проиллюстрированы характеристики и возможности представленных вычислительных каскадов. Выполнена апробация разработанного алгоритма выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах для нужд промышленного заказчика. Приведены иллюстрирующие примеры его функционирования, показаны результирующие параметры разработанной вычислительной системы. (Вклад соискателя 70 %).

5. **Бахтин В.В.** Модификация алгоритма идентификации и категоризации научных терминов с использованием нейронной сети. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, 2019, том 21, № 3, с. 14-19.

В статье представлена модификация алгоритма идентификации и категоризации научных терминов с использованием нейронной сети, осуществлена первичная постановка задач исследования. В.В. Бахтин провел анализ существующих направлений развития нейронных сетей и представил модификацию алгоритма, которая учитывала современные архитектурные подходы к реализации нейронных сетей, в последствие, представленный алгоритм будет использоваться для тестирования алгоритма декомпозиции нейронных сетей.

Научные статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в МБЦ:

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

В статье представлен разработанный алгоритм декомпозиции монолитной рекуррентной нейронной сети для реализации туманных вычислений в устройствах на программируемой логике. В.В. Бахтиным был проведен аналитический обзор существующих моделей, методов, алгоритмов реализации распределенных нейронных сетей. Был разработан алгоритм функционирования распределенной блочной рекуррентной нейронной сети, реализованы различные варианты алгоритма декомпозиции в зависимости от задаваемых входных параметров.

7. **I. A. Podlesnykh, V. V. Bakhtin** Mathematical Model of a Recurrent Neural Network for Programmable Devices Focused on Fog Computing, 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2022, pp. 395-397, DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755677 (Scopus).

В статье представлена математическая модель рекуррентной искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления. В.В. Бахтин в представленной работе произвел теоретические выводы и расчеты, а также осуществил программное моделирование при использовании разработанного алгоритма декомпозиции нейронной сети. (Вклад соискателя 50 %).

8. **I. A. Podlesnykh, V. V. Bakhtin** Advanced Fog Neural Network Design Method, 2023 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2023, pp. 244-246, DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755677 (Scopus).

В статье представлена модификация метода синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, позволяющая обеспечить отказоустойчивость в вычислительных системах критического применения. В.В. Бахтин в представленной работе произвел теоретические расчеты, а также программное и схемотехническое моделирование при использовании САПР Proteus. (Вклад соискателя 50 %).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученные по тематике диссертационной работы:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611627 Российская Федерация. Программный продукт «NNSplitter» для декомпозиции монолитных НС на каскад блочных НС для синтеза нейросетевых устройств на программируемой логике: № 2022611627; заявл. 19.01.2022; опубл. 28.01.2022 / **Бахтин В.В.**; заявитель **Бахтин В.В.**

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615562 Российская Федерация. Программный продукт «NNImplementer» для реализации запуска и работы блочной НС на каскаде нейросетевых устройств на программируемой логике: № 2022615562; заявл. 27.03.2022; опубл. 31.03.2022 / **Бахтин В.В.**; заявитель **Бахтин В.В.**

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Представленная Бахтиным Вадимом Вячеславовичем диссертационная работа является прикладным научным исследованием в области разработки распределенных вычислительных систем и их элементов и имеет фундаментальное и прикладное значение для развития данного направления науки.

Указанная область исследования соответствует пунктам **4, 7** паспорта научной специальности **2.3.2 Вычислительные системы и их элементы:**

п. 4. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования вычислительных систем и их элементов в нормальных и экстремальных условиях с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

п. 7. Разработка научных методов и алгоритмов организации параллельной и распределенной обработки информации, многопроцессорных, многоядерных, многомашинных и специальных вычислительных систем

7. Диссертационная работа Бахтина Вадима Вячеславовича отвечает требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.: автор, Бахтин Вадим Вячеславович, корректно ссылается в тексте диссертации на авторов и (или) источники заимствования материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, опубликованных лично или в соавторстве.

Диссертация «Метод синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing» **Бахтина Вадима Вячеславовича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.2 Вычислительные системы и их элементы.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета «17» апреля 2023 г. (протокол № 11).

Присутствовало на заседании 26 чел. Результаты голосования: «за» – 26 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой
«Автоматика и телемеханика»,
доктор технических наук, профессор

_____ / Южаков А.А./