

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Борданова Ильи Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы оценки функциональной корректности искусственных нейронных сетей на базе мемристоров», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Диссертационная работа Борданова И.А. посвящена оценке функциональной корректности искусственных нейронных сетей, аппаратно реализованных на базе мемристивных устройств. Развитие технологий производства мемристивных устройств открывает перспективы создания энергоэффективных нейропроцессоров, однако ключевым препятствием на пути к их широкому внедрению остаются неидеальные характеристики мемристоров, связанные с естественным разбросом от цикла к циклу и от устройства к устройству. Эти погрешности, возникающие на физическом уровне, приводят к искажению синаптических весов и, как следствие, к снижению точности работы аппаратно реализованной нейронной сети.

Существующие методы моделирования либо требуют значительных вычислительных ресурсов (решение дифференциальных уравнений для каждого мемристора), либо чрезмерно упрощают задачу (задание разброса весов без связи с физикой явления и с процессом их записи), что снижает достоверность прогнозов. Поэтому тема диссертации, обусловленная необходимостью устранения разрыва между физическим и информационным уровнями моделирования путем разработки статистических моделей, связывающих параметры управляющих сигналов с итоговой точностью нейросети, является весьма актуальной.

Научная новизна работы не вызывает сомнений и заключается в следующем:

1. Предложен новый подход к моделированию мемристоров, где зависимость сопротивления от параметров сигнала описывается не детерминированными физическими уравнениями, а статистическими функциями, полученными на основе планирования эксперимента. Это позволяет напрямую учитывать присущую мемристорам погрешность записи.
2. Разработана оригинальная модель, связывающая статистические характеристики сопротивления мемристора со статистическими характеристиками веса синапса, что является важным шагом для перехода от физических параметров к информационным.
3. Создан алгоритм оценки функциональной корректности искусственной нейронной сети на основе мемристоров, ключевой особенностью которого является учет погрешности для каждого весового коэффициента в зависимости от его номинального значения, а также аппаратных ограничений по напряжению. Это обеспечивает высокую точность моделирования, приближенную к поведению реального устройства.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием методов системного анализа, теории вероятностей, математической статистики и планирования эксперимента. Достоверность обеспечена верификацией разработанных моделей путем сравнения с экспериментальными данными, полученными на реальных кроссбар-матрицах мемристоров 32×8 1T1R. Автор убедительно демонстрирует совпадение модельных и экспериментальных данных с доверительной вероятностью 95%. Апробация работы выполнена на различных всероссийских

и международных конференциях. Автор имеет публикации в ведущих рецензируемых журналах (в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК и 4 — в Scopus/Web of Science).

Практическая значимость работы заключается в создании инструментария, позволяющего проектировщику нейроморфных систем на этапе разработки оценить точность работы будущего устройства. Разработанный программно-аппаратный комплекс внедрен в научно-исследовательский процесс различных лабораторий и производственную деятельность предприятия, что подтверждено соответствующими актами и справками.

Автореферат написан технически грамотным языком, логически выстроен и хорошо иллюстрирован, что позволяет получить полное представление о проделанной работе. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

В качестве замечания по автореферату можно отметить следующее:

1. В тексте автореферата не отражено, какие параметры и уровни сигнала использовались при создании модели 1 и какие были выбраны уровни сопротивлений при построении модели 2, а также не отражено количество параллельных опытов.
2. В разделе «Научная новизна» утверждается, что разработанные модели описывают статистическую взаимосвязь между параметрами сигнала и сопротивлением, а также между сопротивлением и весом. Однако в автореферате не раскрывается, какие именно статистические критерии использовались для проверки адекватности моделей.

Указанные замечания носят уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки работы. По автореферату можно сделать вывод о том, что диссертация Борданова И.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача по разработке моделей и алгоритмов для оценки функциональной корректности искусственных нейронных сетей на базе мемристоров, имеющая существенное значение для развития нейроморфной электроники и систем искусственного интеллекта.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Борданов Илья Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв составил:

Заведующий НИЛ «Лаборатория мемристорной наноэлектроники» НОЦ «Физика твердотельных наноструктур», кандидат физико-математических наук

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ НИТУ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

Т.А. СУББО



Михайлов Алексей Николаевич

2026 г.

Подпись Михайлова А.Н. удостоверяю:

Полное наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Адрес: 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.
Тел: 462-37-18, эл. почта: mian@nifti.unn.ru.