



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

М.Ю. Грязнов

«06»

11

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Бабича Николая Александровича** на тему **«Управление транспортным средством на основе нейроинтерфейса с применением машинного обучения»** представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы диссертации. В последние годы в инженерии, медицине и биологических исследованиях всё чаще используется понятие «интерфейс мозг-компьютер (ИМК)» или «нейроинтерфейс». ИМК — физический интерфейс приёма или передачи сигналов между живыми нейронами биологического организма (например, мозгом животного) с одной стороны, и электронным устройством (например, компьютером) с другой стороны.

Одним из наиболее значимых направлений применения нейроинтерфейсов является управление техническими системами. Решение данной задачи способствует расширению возможностей реабилитации пациентов с нарушениями двигательных функций, повышению эффективности роботизированных протезов, а также открывает перспективы дистанционного управления объектами, находящимися в труднодоступных или опасных условиях. Современный подход к реализации подобных систем основан на создании программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих регистрацию и обработку сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в реальном времени.

В России исследования в области систем с нейроинтерфейсами активно ведутся несколькими сильными коллективами, среди которых следует

упомянуть группы А.Я. Каплана (МГУ), М.А. Лебедева (Сколтех, НИУ ВШЭ), А.Е. Храмова (БФУ им. И.Канта), В.Б. Казанцева (ННГУ, Нижний Новгород), А.Е. Осадчего (НИУ ВШЭ), С.Л. Шишкина, М.И. Бурцева (НИЦ "Курчатовский институт), Л.А. Станкевича (СПб ПУ Петра Великого), коллектив РНИМУ им. А.А. Пирогова и коллектив Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (А.А. Фролов, П.Д. Бобров и др.). Среди зарубежных ученых следует упомянуть К. Фристона (K. Friston, UK), Э. Шёлля (E. Schoell, TU Berlin), Ю.Куртса (J.Kurths), В.К.Джирса (V.K.Jirsa) и др. Зарубежные публикации по тематике нейроинтерфейсов активно появляются с начала 2000-х годов, при этом существует ряд обзорных работ, посвящённых в том числе интерфейсам, использующим ЭЭГ сигналы.

Работы по созданию и использованию программно-аппаратных комплексов на основе неинвазивных ИМК ведутся также в ИПМаш РАН. Совместно с Институтом мозга человека РАН предложены подходы к применению ЭЭГ для ранней диагностики шизофрении, а в сотрудничестве с кафедрой высшей нервной деятельности и психофизиологии СПбГУ — методы анализа самоинициированных движений на основе вызванных потенциалов. Важным классом задач управления на основе интерфейсов является нейроинтерфейсное управление подвижными объектами и транспортными средствами, где разнообразие видов поведения и управляющих действий относительно невелико, что упрощает распознавание и классификацию сигналов.

Таким образом, актуальность разработки нейроинтерфейсных систем и технологий обуславливается тем, что они позволяют решать целый комплекс важных практических задач, связанных с применением систем управления с нейроинтерфейсами для облегчения условий жизни людям с ограниченными возможностями, для реабилитации после различных травм, инсультов, для бионического протезирования и других. Решение подобных задач осложняется тем, что в условиях задачи имеется значительная

неопределённость, требующая разработки соответствующих методов обработки сигналов и управления.

Новизна полученных результатов и выводов. На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы:

- дано формальное математическое описание процесса сбора и обработки сигналов ЭЭГ для нейроинтерфейсных систем управления транспортным средством. Разработана структура системы управления, выбраны ее составные элементы;
- выбраны алгоритмы предобработки, анализа и классификации сигналов ЭЭГ, разработан алгоритм принятия решений и управления;
- разработана модификация классификатора k-ближайших соседей – метод почти ближайших соседей (FANN), что позволило снизить зависимость от значения числа k и повысить точность распознавания;
- разработан алгоритм классификации сигналов ЭЭГ с учётом дрейфа параметров, а также дообучения классификатора, который представляет собой метод адаптации системы управления, позволяющий повысить точность распознавания сигналов ЭЭГ;
- разработана программная платформа на языке Python, позволяющая реализовывать системы управления для нейроинтерфейсов. На её основе разработана система управления, описанная в работе.
- разработан план эксперимента для тестирования разработанной системы управления. Проведены эксперименты с реальными испытуемыми, выполнен расчёт точности работы системы.

Публикации и апробации результатов. Результаты диссертационного исследования опубликованы в шести научных работах. Из них 2 – в изданиях из перечня научных журналов, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов диссертаций и журналов, входящих в «Белый список», 4 – в изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, 2 – в изданиях, входящих в РИНЦ.

Результаты диссертационных исследований были представлены на научных конференциях и форумах, в том числе международных.

Научная и практическая значимость результатов. В диссертационной работе получены новые методы, алгоритмы и программы, позволяющие выполнять обработку сигналов ЭЭГ для управления инвалидным креслом с помощью активности головного мозга человека. Разработанная система управления может служить основой для будущих исследований и разработок нейроинтерфейсов, а также послужить прототипом потребительского устройства. Часть результатов диссертации получена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2021-573 (мегагранта).

Также результаты исследований отражены в свидетельстве на программы для ЭВМ: Бабич Н.А., Фрадков А.Л. «Программа трехпозиционного управления роботизированными механизмами с помощью сигналов ЭЭГ». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025618163, 02.04.2025. Заявка № 2025615087 от 11.03.2025.

Достоверность результатов подтверждается результатами численного моделирования, а также результатами экспериментальных проверок работоспособности разработанных и реализованных алгоритмов, методов и программ.

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации. Диссертационные исследования посвящены разработке методов и алгоритмов управления транспортными средствами с помощью сигналов головного мозга человека, а также их реализации в виде программ. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Замечания по диссертационной работе. К диссертационной работе и автореферату существенных замечаний нет. Однако, несмотря на общую положительную оценку, при изучении материалов возникли некоторые замечания:

1. В данной работе описывается алгоритм адаптации с учётом дрейфа параметров, однако не раскрывается его роль в конечной системе управления.
2. В данной работе было бы желательным лучше раскрыть практическую применимость разработанных систем.
3. В данной работе описывается использование сигналов ЭЭГ для управления инвалидным креслом, однако может быть эффективным использование и других источников информации, например – сигналов мышечной активности.

Данные замечания не влияют на достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Бабича Николая Александровича на тему «Управление транспортным средством на основе нейроинтерфейса с применением машинного обучения», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, которая посвящена разработке новых методов, алгоритмов и программ для управления транспортными средствами с помощью сигналов головного мозга человека, которые имеют существенное значение для специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», что соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, утверждённого приказом директора от 19.03.2025 г. №01-042, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Бабич Николай Александрович заслуживает присуждения искомой учёной степени по специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв обсужден и единогласно утвержден на заседании кафедры нейротехнологий Института биологии и биомедицины 06.11.2025, протокол №5.

Отзыв подготовил и составил

Заведующий кафедрой нейротехнологий

Института биологии и биомедицины

ННГУ им. Н.И. Лобачевского,

д.ф.-м.н., профессор



Т.А. СУББОТИНА

Казанцев В.Б.

Почтовый адрес: 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

Телефон: (831) 462-32-37

Адрес электронной почты: kazan@unn.ru

Организация – место работы: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Должность: Заведующий кафедрой нейротехнологий Института биологии и биомедицины

Web-сайт организации: www.unn.ru