

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.2.415.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14.12.23г. № 3

О присуждении Светлакову Михаилу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта» по специальности 2.3.8 - «Информатика и информационные процессы» принята к защите 13 октября 2023 г. (протокол N 1) диссертационным советом 24.2.415.06, созданным на базе ТУСУРа (634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, приказ № 827/нк от 20.04.2023 г.).

Соискатель Светлаков Михаил Олегович, 30 ноября 1995 года рождения, в 2019 г. окончил ТУСУР. С 2019 по 2023 г. обучался в аспирантуре ТУСУРа. Работает младшим научным сотрудником в лаборатории интеллектуальных систем кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа. Диссертация выполнена на кафедре КСУП ТУСУРа.

Научный руководитель – доктор технических наук профессор Ходашинский Илья Александрович, профессор кафедры КСУП ТУСУРа.

Официальные оппоненты: Сырямкин Владимир Иванович, д.т.н., проф. зав. кафедрой управления качеством факультета инновационных технологий, Национального исследовательского Томского государственного университета; Болодурин Ирина Павловна, д.т.н., проф. зав. кафедрой прикладной математики института математики и информационных технологий Оренбургского государственного университета, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, в своем положительном отзыве, составленном Кочегуровым

А.И., к.т.н., доц., доцентом отделения информационных технологий и Небаба С.Г., к.т.н., доцентом отделения информационных технологий, утвержденном Степановым И. Б., д.т.н., и.о. проректора по науке и стратегическим проектам, указала, что диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне и обладающее научной новизной. В диссертации содержится решение задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии, имеющей значение для развития теории и практики нейро-сетевых и нечетких технологий, распознавания образов и интеллектуального анализа данных, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 работ – в журналах, рекомендованных ВАК; 15 работ – индексируемых в международной базе SCOPUS ; 12 работ – в международной базе Web of Science. Общий объем – 29,1 п.л., авторский вклад – 12,7. Получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Наиболее значимые работы:

1. **Svetlakov M.** Representation Learning for Electroencephalogram-Based Biometrics Using Holo-Hilbert Spectral Analysis / M. Svetlakov, I. Hodashinsky, K. Sarin // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2022. – Vol. 32. – № 3. – P. 682-688. – DOI: 10.1134/S1054661822030415.

2. **Svetlakov M.** Representation Learning for EEG-Based Biometrics Using Hilbert–Huang Transform / M. Svetlakov, I. Kovalev, A. Konev [и др.] // Computers. – 2022. – Vol. 11. – P. 1-15. – No 3. – DOI: 10.3390/computers11030047.

3. Sarin K. Extracting Knowledge from Images of Meanders and Spirals in the Diagnosis of Patients with Parkinson’s Disease / K. Sarin, I. Hodashinsky, **M. Svetlakov** // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2022. – Vol. 32. – № 3. – P. 658-664. – DOI:

10.1134/S1054661822030385.

4. Ходашинский И. А. Биометрические данные и методы машинного обучения в диагностике и мониторинге нейродегенеративных заболеваний: обзор / И. А. Ходашинский, К. С. Сарин, М. Б. Бардамова, **М.О. Светлаков** [и др.] // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 6. – С. 988–1020. – DOI: 10.18287/2412–6179-CO-1134.

5. Генерация базы правил нечеткого классификатора для диагностики болезни Паркинсона по рукописным данным / М. Б. Бардамова, И. А. Ходашинский, Ю. А. Шурыгин, **М.О. Светлаков** // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2023. – № 2. – С. 31–44. – DOI 10.14357/20718594230203.

На диссертацию и автореферат поступило 12 положительных отзывов из следующих организаций: Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток (**Грибова В.В.**, д.т.н., член корреспондент РАН, зам. директора по научной работе); Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана – национальный исследовательский университет (**Карпенко А.П.**, д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования»); Южный федеральный университет, г. Таганрог (**Курейчик В.В.**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования»), Иркутский государственный университет путей сообщения (**Аршинский Л.В.**, д.т.н., доц., профессор кафедры информационных систем и защиты информации); Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (**Катасёв А.С.**, д.т.н., проф., профессор кафедры систем информационной безопасности); Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (**Карпов А.А.**, д.т.н., проф., главный научный сотрудник); Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (**Синюк В.Г.**, к.т.н., доцент, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем); Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачёва, г. Кемерово (**Раевская Е.А.**, к.т.н., доцент кафедры прикладных информационных технологий, **Пимонов А. Г.**, д.т.н., проф., зав. кафедрой прикладных ин-

формационных технологий); Тамбовский государственный технический университет (**Обухов А.Д.**, д.т.н., доцент, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»); Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск (**Массель Л. В.**, д.т.н., проф., главный научный сотрудник); Юго-Западный государственный университет, г. Курск (**Бобырь М.В.**, д.т.н., проф., профессор кафедры программной инженерии); Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН, г. Красноярск (**Исаева О.С.**, д.т.н., старший научный сотрудник).

В отзывах на автореферат указаны следующие основные замечания: отсутствует описание структурных характеристик нечетких классификаторов; отсутствует обоснование применения разных метрик оценки точности разработанных классификаторов; не пояснено, что подразумевается под термином «частица»; отбор признаков проще провести посредством применения алгоритмов фильтрации, нежели строить и обучать отдельную модель, не указано, проводились ли сравнения с упомянутыми алгоритмами; отсутствует аргументация выбора евклидовой меры для оценки расстояния между центроидами-правилами и векторами данных; указано, что алгоритм Autonomous Data Partitioning применяется для определения количества кластеров и правил в нечетком классификаторе, однако в псевдокоде алгоритма количество правил задается пользователем; не приведены сравнения точности предлагаемой нейронной сети на основе преобразования Холо-Гильберта и разработанного нечеткого классификатора для решения проблемы верификации субъекта; отсутствует обоснование выбора для проверки работоспособности нейронной сети единственного набора данных; словосочетание «непараметрический алгоритм» вряд ли уместно в данном контексте, слово «непараметрический» давно используется в математической статистике и имеет другой смысл; отсутствует обоснование использования именно V-образной функции трансформации для отбора признаков; не ясно, существуют ли какие-то ограничения для использования S-образной функции трансформации; отсутствует математическое описание представленных псевдокодов; отсутствуют пояснения, как решена задача повышения интерпретируемости моделей машинного обучения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н. проф. Сырямкин В.И. является известным специалистом в области распознавания образов, нейро-сетевых и нечетких технологий, систем принятия решений; д.т.н., проф. Болодурина И.П. является признанным специалистом в области машинного обучения и создания систем интеллектуального анализа данных, что подтверждается списками публикаций оппонентов.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Национальный исследовательский Томский политехнический университет имеет квалифицированных специалистов в области методов глубокого обучения, нечетких систем и искусственных нейронных сетей, которые имеют достаточный объем публикаций по тематике диссертации в ведущих изданиях и способны определить и аргументированно обосновать научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– *разработан* метод верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы и метода глубокого обучения, отличительной особенностью которого является извлечение признаков с помощью спектрального анализа Холо-Гильберта и метрического обучения; на общедоступном наборе данных Physionet EEG Motor Movement/Imagery Dataset (PEEGMMID) использование предложенного метода позволило уменьшить значение ошибки EER (Equal Error Rate – равный уровень ошибок) на 0,97% ($p\text{-value}<0,01$, критерий Уилкоксона) по сравнению с использованием признаков на основе преобразования Гильберта-Хуанга, по сравнению с дискретным вейвлет-преобразованием значение ошибки EER уменьшилось на 9,38% ($p\text{-value}<0,01$, критерий Уилкоксона);

– *разработан* алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора, особенностью которого является совместное использование алгоритма кластеризации k -средних и метаэвристического алгоритма «стая птиц»; использование предложенного алгоритма позволило повысить точность нечеткого классификатора на наборах данных из хранилища KEEL в среднем на 14,38% по сравнению с алгоритмом экстремумов признаков классов и на 6,00% по сравнению с

алгоритмом только на основе кластеризации k -средних. Для проблемы верификации субъекта по ЭЭГ и набора данных PEEGMMID точность классификатора, построенного предложенным алгоритмом, выше точности классификатора на основе машины опорных векторов с линейным ядром на 6,46%, и на 9,37% выше точности нечеткого классификатора, построенного с помощью алгоритма экстремумов признаков классов

– *разработан* алгоритм отбора признаков, особенностью которого является использование V-образной функции трансформации и метаэвристического алгоритма “стая птиц”; использование предложенного алгоритма позволило сократить число признаков с 1152, извлеченных с помощью дискретного вейвлет-преобразования признаков, до 98 для набора данных PEEGMMID.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации результативно использованы преобразование Холо-Гильберта и метрическое обучение для извлечения признаков из сигналов электроэнцефалограммы, позволившие отказаться от жесткой привязки к заданному списку меток классов, а также учесть все взаимодействия – аддитивные и мультипликативные, внутримодовые и межмодовые, стационарные и нестационарные, линейные и нелинейные – улучшающие точность верификации субъекта;

проведена модернизация технологии построения нечетких классификаторов, включающая методы кластеризации и метаэвристический метод оптимизации «стая птиц» для уменьшения числа нечётких правил, а также использование V-образной функции трансформации для сокращения числа признаков, что позволяет улучшить интерпретируемость нечетких классификаторов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные алгоритмы *внедрены* в виде программного обеспечения, которое используется в отделении неврологии Томского НИИ Курортологии и физиотерапии ФМБА России для обнаружения у пациентов эпилептиформ на сегментах ЭЭГ; в учебном процессе ТУСУРа, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Предложенные соискателем алгоритмы применялись при выполнении проекта, поддержанного грантом РФФИ «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах» (№16-07-00034-а) 2016-2018 гг., и при выполнении проекта «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний», поддержанного грантом РФФИ (№ 22-21-00021) 2022–2023 гг.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что идея применения методов спектрального анализа Холо-Гильберта, метрического обучения и метаэвристической оптимизации для повышения эффективности работы классификаторов *базируется* на обобщении передового опыта, изложенного в научных публикациях по теме диссертации;

корректно *использованы* современные математические и статистические методы при проведении вычислительных экспериментов и анализе результатов;

установлено, что полученные соискателем результаты вычислительных экспериментов согласуются с аналогичными экспериментальными данными, содержащимися в исследованиях, опубликованных по тематике диссертации.

Личный вклад соискателя состоит в разработке метода извлечения признаков с помощью спектрального анализа Холо-Гильберта и метрического обучения, в разработке алгоритмов формирования нечеткого классификатора и их реализации в виде программных средств, проведении экспериментов, апробации полученных материалов исследования на научных мероприятиях; постановка цели и задач научного исследования, интерпретация экспериментальных данных, подготовка публикаций по выполненной работе проводилась совместно с научным руководителем.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: не раскрыты достоинства применения свёрточных нейронных сетей для решения задачи анализа ЭЭГ; не описано влияние на работу алгоритма размерности входных данных; не раскрыты достоинства применения вейвлетов Добеши; не раскрыто понятие «эффективность алгоритма»; не ясно, почему большее снижение числа признаков привело к увеличению точности.

Соискатель Светлаков М.О. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, частично согласился с высказанными замечаниями и привел собственную аргументацию: в процессе решения поставленной задачи были проведены эксперименты с LSTM- и RBF-нейросетями, результаты оказались хуже, чем результаты свёрточных нейронных сетей; время работы алгоритма пропорционально произведению числа признаков, числа правил, размера популяции, числа параметров функции принадлежности; вейвлеты Добеши выбраны на основе анализа литературных источников; эффективность алгоритма определяется точностью на тестовых данных и сложностью, которая выражается через число правил и число признаков в правиле; увеличение точности происходит за счёт возможности более точно настроить параметры функций принадлежности за тоже самое время.

На заседании 14 декабря 2023 г. диссертационный совет принял решение: присудить Светлакову М.О. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы» за решение научной задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии, имеющей значение для развития теории и практики нейро-сетевых и нечетких технологий, распознавания образов и интеллектуального анализа данных.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 10, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

14.12.2023 г.



Мицель Артур Александрович

Костюченко Евгений Юрьевич