

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
и инновациям

Лоцилов А.Г.

« 09 » октября 2023 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Диссертация «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) на кафедре компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

В период подготовки диссертации соискатель Светлаков Михаил Олегович обучался в очной аспирантуре ТУСУР на кафедре КСУП по направлению «09.06.01 Информатика и вычислительная техника» профиль «Теоретические основы информатики». Во время обучения в аспирантуре Светлаков М.О. совмещал педагогическую и научную деятельность. В настоящее время он работает в должности ассистента кафедры КСУП и младшего научного сотрудника лаборатории интеллектуальных систем кафедры КСУП.

В 2019 году Светлаков М.О. окончил ТУСУР по специальности «10.05.04 Информационно-аналитические системы безопасности».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2023 г. ТУСУР.

Научный руководитель – Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор ТУСУР.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### **Оценка выполненной соискателем работы.**

Диссертация Светлакова М. О. является законченным научным исследованием, содержит решение актуальной научно-технической задачи построения моделей машинного обучения, предназначенных для верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии.

### **Актуальность темы и направленность исследования**

В диссертационной работе Светлакова М. О. рассматривается применение машинного обучения для задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии. Актуальной является разработка алгоритмов и методов, позволяющих улучшить точность верификации за счет использования метода спектрального анализа Холо-Гильберта и методов глубокого обучения. Актуальной является проблема разработки интерпретируемых моделей

машинного обучения, каковыми являются нечеткие классификаторы, основой которых являются «ЕСЛИ-ТО» правила. Целью диссертационной работы является повышение точности и интерпретируемости моделей машинного обучения, предназначенных для верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Постановка целей и задач научного исследования, анализ и интерпретация результатов экспериментов, подготовка публикаций по выполненной работе проводилась совместно с научным руководителем, профессором, д.т.н. Ходашинским И.А. Автором диссертации самостоятельно разработаны алгоритм извлечения признакового набора для сигнала электроэнцефалограммы (ЭЭГ), алгоритм формирования структуры нечеткого классификатора, алгоритм настройки параметров нечетких термов на основе метаэвристики «стая птиц», алгоритм отбора информативных признаков на основе метаэвристики «стая птиц», разработан метод верификации субъекта на основе данных ЭЭГ, отличительной особенностью которого является извлечение признаков с помощью спектрального анализа Холо-Гильберта и использование метрического обучения; лично получены результаты экспериментов, проведена апробация разработанных алгоритмов.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность обеспечивается корректностью применения математических методов, результатами проведенных экспериментов и сравнений с базовыми моделями и алгоритмами, проведенных с помощью статистических критериев.

#### **Научная новизна диссертации.**

В диссертации получены следующие новые научные результаты.

- 1) Предложен оригинальный метод верификации субъекта на основе данных ЭЭГ и методов глубокого обучения, отличительной особенностью которого является извлечение признаков с помощью спектрального анализа Холо-Гильберта и метрического обучения.
- 2) Предложен гибридный алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора, особенностью которого является совместное использование алгоритма кластеризации  $k$ -средних и метаэвристического алгоритма «стая птиц».
- 3) Предложен алгоритм отбора признаков, особенностью которого является использование V-образной функции трансформации и метаэвристического алгоритма «стая птиц».

#### **Практическая значимость диссертации.**

Практическая значимость работы выражена в применении предложенных методов для решения практической задачи классификации – обнаружения эпилептиформ на сегментах ЭЭГ для Томского НИИ Курортологии и физиотерапии ФМБА России, получен акт внедрения в НИИКиФ. Результаты диссертационной работы также внедрены в учебный процесс ТУСУР, получен соответствующий акт.

Разработанные алгоритмы использованы при выполнении следующих проектов:

- научный проект при поддержке РНФ проект № 22–21–00021 «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний» 2022–2023 гг.;
- научный проект при поддержке РФФИ № 16–07–00034 «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах» 2016–2018 гг.

**Полнота изложенных материалов диссертации в печатных работах, опубликованных автором.**

По теме исследования опубликовано 25 печатных работ, из которых в рекомендованных ВАК периодических изданиях – 5. В международной базе SCOPUS

роиндексированы 15 работ, 12 работ – в базе Web of Science. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Работы, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

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. (Scopus, WoS).

2) 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. (Scopus, WoS).

3) 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. (Scopus, WoS).

4) Ходашинский И. А. Нечёткие классификаторы для диагностики болезни Паркинсона на основе статических рукописных данных / И. А. Ходашинский, Ю. А. Шурыгин, К. С. Сарин, М. Б. Бардамова, А. О. Слѣзкин, М. О. Светлаков, Н. П. Корышев // *Автометрия*. – 2023 – Т. 59, – № 3. – С. 72–85 – DOI: 10.15372/AUT20230200. (Scopus, WoS).

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

Другие работы, опубликованные по теме диссертации:

6) Svetlakov, M. Gender, Age and Number of Participants Effects on Identification Ability of EEG-based Shallow Classifiers / M. Svetlakov, I. Hodashinsky, A. Slezkin // *Proceedings - 2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2021, Yekaterinburg, 13–14 мая 2021 года*. – Yekaterinburg, 2021. – P. 350-353. – DOI: 10.1109/USBEREIT51232.2021.9455114. (Scopus).

7) Svetlakov, M. O. Clustering-based rule generation methods for fuzzy classifier using Autonomous Data Partitioning algorithm / M. O. Svetlakov, I. A. Hodashinsky // *Journal of Physics: Conference Series*: 18, Tomsk, 27–30 апреля 2021 года. – Tomsk, 2021. – P. 1-7. – DOI: 10.1088/1742-6596/1989/1/012032. (Scopus, WoS).

8) Hodashinsky, I. Identity Authentication Based on Handwritten Signature Using Fuzzy Classifiers Ensemble / I. Hodashinsky, A. Slezkin, M. Svetlakov, E. Kostyuchenko, I. Sidorov // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, – 2021, – Vol.12, - Iss. 1, – P. 539-568. – DOI: 10.34218/IJARET.12.1.2021.050. (Scopus).

9) Tolosana, R. ICDAR 2021 Competition on On-Line Signature Verification / R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, C. Gonzalez-Garcia, M. Svetlakov [et al.] // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2021. – Vol. 12824 LNCS. – P. 723-737. – DOI: 10.1007/978-3-030-86337-1\_48. (Scopus, WoS).

10) Tolosana, R. SVC-onGoing: Signature verification competition / R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, C. Gonzalez-Garcia, M. Svetlakov [и др.] // *Pattern Recognition*. – 2022. – Vol. 127. – P. 1-14. – DOI: 10.1016/j.patcog.2022.108609. (Scopus, WoS).

11) Hancer, E. Binary PSO Variants for Feature Selection in Handwritten Signature Authentication / E. Hancer, M. Bardamova, I. Hodashinsky, M. Svetlakov [и др.] // *Informatica*. – 2022. – Vol. 33. – No 3. – P. 523-543. – DOI: 10.15388/21-INFOR472. (Scopus, WoS).

12) 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. (Scopus, WoS).

13) Tsybenov, B. Feature Selection Methods Comparison for EEG-based Classifier Constructed Using Discrete Wavelet Transform Features / B. Tsybenov, M. Svetlakov, I.

Hodashinsky // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2291. – № 1. – P. 1-6. – DOI: 10.34218/IJARET.12.1.2021.050. (Scopus, WoS).

14) Bardamova, M. Construction of Fuzzy Classifiers by a Brain Storm Optimization Algorithm / M. Bardamova, I. Hodashinsky, M. Svetlakov // Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – P. 391–403. – DOI: 10.1007/978-3-031-09677-8\_33. (Scopus, WoS).

15) Sarin K. A three-stage fuzzy classifier method for Parkinson's disease diagnosis using dynamic handwriting analysis // Decision Analytics Journal. – 2023. – Vol. 8. – P. 1-23. – DOI: 10.1016/j.dajour.2023.100274. (Scopus).

16) Светлаков, М. О. Отбор признаков для нечеткого классификатора с использованием метаэвристического алгоритма "bird swarm" / М. О. Светлаков // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2021. – № 1–2. – С. 230–233.

17) Светлаков, М. О. Алгоритм оптимизации параметров нечеткого классификатора, использующий метаэвристику "стая птиц" и метод "островов" / М. О. Светлаков // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам шестой международной научной конференции, Казань, 31 июля 2019 года. – Казань: ООО "КОНВЕРТ", 2019. – 2019. – С. 224–226.

18) Светлаков, М. О. Генерация правил нечеткого классификатора с помощью алгоритмов ADP и  $k$ -means / М. О. Светлаков // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 27–30 апреля 2021 года. Том 7. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – 2021. – С. 107–109.

19) Sarin K. Machine Learning Methods for Predicting Tumor Volume in Rats after Termination of Complex Treatment with a Varying Dose of Cyclophosphamide / K. Sarin, M. Bardamova, M. Svetlakov [и др.] // Systematic Reviews in Pharmacy. – 2021. – Vol. 12. – No 3. – P. 983-995.

20) Светлаков, М. О. Применение алгоритма кластеризации Autonomous Data Partitioning для построения начальной базы правил нечетких классификаторов / М. О. Светлаков // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – № 1–2. – С. 79–82.

21) Цыбенков, Б. Д. Отбор и выделение признаков сигнала ЭЭГ с помощью вейвлет-преобразования для аутентификации пользователя / Б. Д. Цыбенков, М. О. Светлаков // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2021. – № 1–2. – С. 317–319.

22) Светлаков, М. О. Влияние выбора функции потерь на точность при обучении представлений с использованием данных электроэнцефалограммы для решения задачи идентификации субъекта / М. О. Светлаков // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2022. – № 1–2. – С. 92–94.

23) Светлаков, М. О. Применение нечеткого классификатора для аутентификации пользователя на основе данных электроэнцефалограммы / М. О. Светлаков // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2022. – № 1–2. – С. 214–217.

24) Светлаков, М. О. Метод построения нечетких систем на основе модели островов / М. О. Светлаков // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXV Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Пенза, 30 июля 2019 года. Том Часть 1. – Пенза: "Наука и Просвещение", 2019. – 2019. – С. 143–146.

25) Светлаков, М. О. Построение модифицированных систем типа Ангелова-Ягера с использованием метода отбора признаков / М. О. Светлаков // Сборник материалов международных научно-практических конференций: Материалы конференций, Москва, 19 июля 2019 года / Ред. Я. А. Коротких. – г. Москва: Центр научного развития "Большая книга", 2019. – 2019. – С. 27–34.

**Соответствие содержания диссертации избранной специальности.**

Диссертационная работа Светлакова М. О. по своему содержанию соответствует специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы», в частности, по следующим пунктам:

4. *Разработка методов и технологий цифровой обработки аудиовизуальной информации с целью обнаружения закономерностей в данных, включая обработку текстовых и иных изображений, видео контента. Разработка методов и моделей распознавания, понимания и синтеза речи, принципов и методов извлечения требуемой информации из текстов.*

7. *Разработка методов обработки, группировки и аннотирования информации, в том числе, извлеченной из сети интернет, для систем поддержки принятия решений, интеллектуального поиска, анализа.*

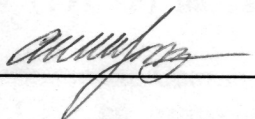
13. *Разработка и применение методов распознавания образов, кластерного анализа, нейро-сетевых и нечетких технологий, решающих правил, мягких вычислений при анализе разнородной информации в базах данных.*

Диссертация «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта» Светлакова Михаила Олеговича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»

Заключение принято на заседании кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 50 от «26» сентября 2023 г.

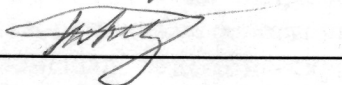
Доктор техн. наук, профессор,  
заведующий каф. КСУП,



---

Ю. А. Шурыгин

Доктор техн. наук, профессор  
каф. КСУП



---

Т. В. Ганджа