

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.15 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И.ЛОБАЧЕВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 декабря 2024 г. № 08

О присуждении Стасенко Сергею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» по специальности 5.12.4. – Когнитивное моделирование (физико-математические науки) принята к защите 12 сентября 2024 г. (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.2.340.15 на базе ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Минобрнауки РФ (603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23; приказ Минобрнауки РФ №2115/нк от 14 ноября 2023 г).

Соискатель Стасенко Сергей Викторович, 25.09.1988 г. рождения, обучался в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» с 2006 г. по 2011 г. по специальности «Биофизика», решением Государственной аттестационной комиссии присвоена квалификация «Биофизик» (диплом К №52119, регистрационный номер 01-95, дата выдачи 29 июня 2011 года).

В 2014 г. закончил аспирантуру ННГУ им. Н.И. Лобачевского. В 2017 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности 03.01.02 — «Биофизика», ученая степень «кандидат физико-математических наук» присуждена

диссертационным Советом Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН 1 марта 2017 г. Диплом кандидата физико-математических наук КНД № 034615 от 12 июля 2017 г.

В период подготовки диссертации Стасенко Сергей Викторович работал на кафедре нейротехнологий Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского в должностях старший преподаватель, доцент, младший научный сотрудник, научный сотрудник, старший научный сотрудник.

Диссертация выполнена на кафедре нейротехнологий Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Научный консультант – Казанцев Виктор Борисович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика», профессор, заведующий кафедрой нейротехнологий Института биологии и биомедицины ННГУ им.Н.И. Лобачевского.

Официальные оппоненты:

Шайдуров Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБУ ФИЦ КНЦ СО РАН Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск;

Постнов Дмитрий Энгелевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов;

Постников Евгений Борисович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики и нанотехнологий, зав. отделом теоретической физики ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск

дали положительные отзывы о диссертации.

1. Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук» в своем положительном отзыве, подписанном

кандидатом биологических наук Бобровым Павлом Дмитриевичем, заведующим лабораторией математической нейробиологии обучения ИВНД и НФ РАН, утвержденном директором ИАВНД и НФ РАН, доктором биологических наук Малышевым Александром Юрьевичем, указала, что по своей актуальности, научной новизне, практической значимости и уровню исполнения диссертационная работа Стасенко Сергея Викторовича «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти», соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора физико-математических наук, а ее автор Стасенко Сергей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 5.12.4. – Когнитивное моделирование (физико-математические науки). При рассмотрении диссертационной работы у ведущей организации возник ряд вопросов и замечаний: 1) В работе встречаются опечатки, к примеру на стр. 68 “глильных клеток” или номер уравнения 5 на стр. 160. 2) На стр. 121 для модели нейрона Ходжкина-Хаксли указаны единицы измерения проводимости натриевых, калиевых и токов утечки мкСм/см², а не мСм/см² как это должно быть. 3) Какие единицы измерения переменной Q? 4) В тексте диссертации встречается термин “синаптическое масштабирование”, являющийся прямым переводом “synaptic scaling”, хотя в русскоязычной литературе используется перевод “синаптическое шкалирование”. 5) На стр. 29 используется термин «синхронизация вверх-вниз», который не является общеупотребимым, поэтому лучше было бы рассуждать в терминах гипер- и деполяризации или привести англоязычный термин (Up and Down states) в скобках.

Соискатель имеет более 50 опубликованных работ, основные результаты диссертационной работы опубликованы в 43 работах: в 25 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI, в 7 конференционных статьях, индексируемых в базе

данных Scopus, в 11 тезисах докладов на международных и российских научных конференциях. Общий объем по теме диссертационной работы составляет 33,5 п.л., из них 30 п.л. личный вклад автора. По результатам диссертационной работы получен патент на изобретение, а также 11 свидетельств о регистрации программного обеспечения. Результаты диссертационной работы были представлены на международных и российских научных конференциях: Volga Neuroscience Meeting-2016 S. Petersburg - N. Novgorod 24.07.2016-30.07.2016; XXI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2019», 02.10.2019-06.10.2019, Долгопрудный; 10th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2019, 15.08.2019-9.08.2019, г. Вашингтон, США; Международная конференция и молодежная школа «Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии», 22.11.2021 - 26.11.2021 г., г. Нижний Новгород; 2021 Third International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN), 13.09.2021-15.09.2021, г. Калининград; 11th International Young Scientist Conference on Computational Science, 12.09.2022 - 17.09.2022, г. Санкт-Петербург; XX Научная школа «Нелинейные волны - 2022», 7.11.2022 - 13.11.2022 г., г. Нижний Новгород; 2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN), 14.09.2022-16.09.2022, г. Калининград; Международная конференция «Динамические системы. Теория и приложения», 26.06.2022 - 29.06.2022 г., г. Нижний Новгород; XXIV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2022», 17.10.2022-21.10.2022, г. Москва; Международная конференция и молодежная школа "Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии", 14.11.2022 - 17.11.2022 г., г. Нижний Новгород; XXX Всероссийская научная конференция «Нелинейные дни в Саратове для молодых - 2023», 15.05.2023 - 19.05.2023 г., г. Саратов; XXV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2023», 23.10.2023-27.10.2023, г. Москва.

В диссертации Стасенко С.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты оригинальных исследований.

Диссертация Стасенко Сергея Викторовича *соответствует паспорту специальности 5.12.4.* – Когнитивное моделирование по следующим пунктам: п. 1 – «Математическое и компьютерное моделирование когнитивных процессов у человека, животных и искусственных агентов» и п. 8 – «Искусственные нейронные сети (включая конволюционные и импульсные сети) при моделировании базовых когнитивных функций обучения, распознавания, запоминания фигуративной (образной), процедурной и декларативной информации.».

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Лазаревич И.А., **Стасенко С.В.**, Казанцев В.Б. Синаптическая мультистабильность и сетевая синхронизация, индуцированные нейрон-глиальным взаимодействием в мозге // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2017. Т. 105. № 3. С. 198–201. (**Scopus, WoS, RSCI, Q2**). IF - 1.4 (WoS, за 5 лет). Объем – 0.4 п. л. <https://doi.org/10.7868/S0370274X17030134>
2. Pankratova, E. V., Kalyakulina, A. I., **Stasenko, S. V.**, Gordleeva, S. Y., Lazarevich, I. A., & Kazantsev, V. B. Neuronal synchronization enhanced by neuron–astrocyte interaction // Nonlinear Dynamics. 2019. Т. 97. С. 647–662. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 4.8 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.4 п. л. <https://doi.org/10.1007/s11071-019-05004-7>
3. Lazarevich, I., **Stasenko, S.**, Rozhnova, M., Pankratova, E., Dityatev, A., & Kazantsev, V. Activity-dependent switches between dynamic regimes of extracellular matrix expression // PLoS One. 2020. Т. 15. № 1. С. e0227917. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 3.3 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.3 п. л. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227917>

4. Rozhnova, M. A., Pankratova, E. V., **Stasenko, S. V.**, & Kazantsev, V. B.. Bifurcation analysis of multistability and oscillation emergence in a model of brain extracellular matrix // *Chaos, Solitons and Fractals*. 2021. T. 151. C. 111253. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 5.4 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.3 п. л. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111253>
5. Rylov A., Levanova T., **Stasenko S.** Classification of Neuron Type Based on Average Activity // *Studies in Computational Intelligence*. 2022. T. 1064 SCI. C. 207–213. (**Scopus, WoS**). Объем – 0.5 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19032-2_21
6. **Stasenko S.**, Kazantsev V. Astrocyte regulation of non-periodic bursting activity of a spiking neural network // *Procedia Computer Science*. 2022. T. 212. C. 243–253. (**Scopus**) Объем – 1.2 п. л. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.008>
7. Barabash N., Levanova T., **Stasenko S.** Rhythmogenesis in the mean field model of the neuron–glial network // *The European Physical Journal Special Topics*. 2023. C. 1–6. (**Scopus, WoS, Q2**). IF - 2.5 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.2 п. л. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-00778-9>
8. **Stasenko S.**, Kazantsev V. Astrocytes Enhance Image Representation Encoded in Spiking Neural Network // *Studies in Computational Intelligence*. 2022b. T. 1064 SCI. C. 200–206. (**Scopus, WoS**). Объем – 0.5 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19032-2_20
9. **Stasenko S.**, Kazantsev V. Spiking Neural Network with Tetrapartite Synapse // *Studies in Computational Intelligence*. 2023. T. 1120 SCI. C. 83–92. (**Scopus, WoS**). Объем – 0.6 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44865-2_9
10. **Stasenko S.**, Levanova T. Mean-Field Model of Brain Rhythms Controlled by Glial Cells // *Studies in Computational Intelligence*. 2023. T. 1120 SCI. C. 293–299. (**Scopus, WoS**). Объем – 0.5 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44865-2_31
11. **Stasenko, S. V.**, Kovalchuk, A. V., Eremin, E. V., Drugova, O. V., Zarechnova, N. V., Tsirkova, M. M., Permyakov, S. A., Parin, S. B., & Plevaya, S. A. Using Machine

Learning Algorithms to Determine the Post-COVID State of a Person by Their Rhythmogram // *Sensors*. 2023. Т. 23. № 11. С. 5272. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 3.7 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.74 п. л. <https://doi.org/10.3390/s23115272>

12. **Stasenko, S. V.**, Mikhaylov, A. N., Fedotov, A. A., Smirnov, V. A., & Kazantsev, V. B. Astrocyte control bursting mode of spiking neuron network with memristor-implemented plasticity // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2024. Т. 181. С. 114648. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 5.4 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.4 п. л. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2024.114648>

13. **Stasenko S.V.**, Hramov A.E., Kazantsev V.B. Loss of neuron network coherence induced by virus-infected astrocytes: A model study // *Scientific Reports*. 2023. Т. 13. № 1. С. 6401. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 5.4 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.53 п. л. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33622-0>

14. **Stasenko S.V.**, Kazantsev V.B. Bursting Dynamics of Spiking Neural Network Induced by Active Extracellular Medium // *Mathematics*. 2023. Т. 11. № 9. С. 2109. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 2.2 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.43 п. л. <https://doi.org/10.3390/math11092109>

15. **Stasenko S.V.**, Kazantsev V.B. Dynamic image representation in a spiking neural network supplied by astrocytes // *Mathematics*. 2023. Т. 11. № 3. С. 561. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 2.2 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.35 п. л. <https://doi.org/10.3390/math11030561>

16. **Stasenko S.V.**, Kazantsev V.B. Information Encoding in Bursting Spiking Neural Network Modulated by Astrocytes // *Entropy*. 2023. Т. 25. № 5. С. 745. (**Scopus, WoS, Q2**). IF - 2.2 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.8 п. л. <https://doi.org/10.3390/e25050745>

17. **Stasenko S.V.**, Lazarevich I.A., Kazantsev V.B. Quasi-synchronous neuronal activity of the network induced by astrocytes // *Procedia Computer Science*. 2020. Т. 169. С. 704–709. (**Scopus**). Объем – 1.17 п. л. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.175>

18. **Stasenko S.V.**, Mikhaylov A.N., Kazantsev V.B. Model of Neuromorphic Odorant-Recognition Network // *Biomimetics*. 2023. Т. 8. № 3. С. 277. (**Scopus, WoS, Q2**). IF - 3.8 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.26 п. л. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030277>
19. **Stasenko S.V.**, Mikhaylov A.N., Kazantsev V.B. Control of Network Bursting in a Model Spiking Network Supplied with Memristor—Implemented Plasticity // *Mathematics*. 2023. Т. 11. № 18. С. 3888. (**Scopus, WoS, Q1**). IF - 2.2 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.24 п. л. <https://doi.org/10.3390/math11183888>
20. Zimin I.A., Kazantsev V.B., **Stasenko S.V.** Artificial neural network model with astrocyte-driven short-term memory // *Biomimetics*. 2023. Т. 8. № 5. С. 422. (**Scopus, WoS, Q2**). IF - 3.8 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.42 п. л. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8050422>
21. Лебедев А., Казанцев В., **Стасенко С.** Исследование влияния синаптической пластичности на формирование признакового пространства спайковой нейронной сетью // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. 2024. Т. 32. № 2. С. 253–267. (**Scopus, WoS, RSCI, Q3**). IF - 0.5 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.25 п. л. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003092>
22. **Стасенко С.** Пачечная динамика спайковой нейронной сети, вызванная активностью внеклеточного матрикса мозга // *Известия саратовского университета. Новая серия. Серия Физика*. 2024. Т. 24. № 2. С. 138–149. (**Scopus, RSCI, Q4**). IF - 0.6 (Scopus, за 5 лет). Объем – 1.25 п. л. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2024-24-2-138-149>
23. Зимин И., Казанцев В., **Стасенко С.** Искусственная нейронная сеть с динамической моделью синапса // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. 2024. Т. 32. № 4. С. 285–296. (**Scopus, WoS, RSCI, Q3**). IF - 0.5 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.2 п. л. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003102>

24. **Стасенко С. В.** Регуляция пачечной динамики в нейрон-глиальной сети с синаптической пластичностью //Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2024. – Т. 32. – №. 5. – С. 670-690. (**Scopus, WoS, RSCI, Q3**). IF - 0.5 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.8 п. л. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003122>

25. **Stasenko, S. V., Olenin, S. M., Grines, E. A., & Levanova, T. A.** Firing rate model for brain rhythms controlled by astrocytes //The European Physical Journal Special Topics. – 2024. – С. 1-11. (**Scopus, WoS, Q2**). IF - 2.5 (WoS, за 5 лет). Объем – 1.3 п. л. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-024-01336-7>

В сборниках трудов конференций, индексируемых Scopus:

26. **Stasenko S. V., Kazantsev V. B.** Astrocyte Controlled SNN Dynamic Induced by Sensor Input //International Conference on Mathematical Modeling and Supercomputer Technologies. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – С. 294-301. (**Scopus**). Объем – 0.42 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52470-7_23

27. Barabash N., Levanova T., **Stasenko S.** STSP model with neuron-glia interaction produced bursting activity //2021 Third International Conference Neurotechnologies And Neurointerfaces (CNN). – IEEE, 2021. – С. 12-15. (**Scopus**). Объем – 0.55 п. л. <https://doi.org/10.1109/CNN53494.2021.9580314>

28. **Stasenko S.** et al. Biomorphic artificial intelligence system for pattern recognition problems with adaptive error correction //2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN). – IEEE, 2022. – С. 185-189. (**Scopus**). Объем – 0.6 п. л. <https://doi.org/10.1109/CNN56452.2022.9912537>

29. **Stasenko S., Kazantsev V.** Mean-field model of tetrapartite synapse //2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN). – IEEE, 2022. – С. 180-184. (**Scopus**). Объем – 0.7 п. л. <https://doi.org/10.1109/CNN56452.2022.9912561>

30. **Stasenko S.** et al. Registration of the post-COVID state using machine-learning approach //2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and

Neurointerfaces (CNN). – IEEE, 2022. – С. 172-175. (**Scopus**). Объем – 0.56 п. л.
<http://dx.doi.org/10.1109/CNN56452.2022.9912448>

31. **Stasenko S.**, Kazantsev V. Regulation of Neural Network Activity by Extracellular Matrix Molecules //International Conference on Mathematical Modeling and Supercomputer Technologies. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2022. – С. 167-175. (**Scopus**). Объем – 0.43 п. л. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24145-1_14

32. **Stasenko S. V.** et al. Computational model of Neural-Glial-Ecm interactions //Opera Medica et Physiologica. – 2016. – №. S1. – С. 108-108. (**Scopus**). . Объем – 0.2 п. л. <https://doi.org/10.20388/OMP2016.00S2.006>

Патенты на изобретения и зарегистрированные программы для ЭВМ:

1. **Патент на изобретение.** Способ классификации изображений с помощью спайковой нейронной сети с синаптической пластичностью и алгоритма машинного обучения / **С.В. Стасенко**, А.А. Лебедев; №2830294; заявл. 02.12.23; опубл. 18.11.2024 (Рос. Федерация). Объем – 0.6 п. л.

2. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа моделирования крупномасштабных нейрон-глиальных сетей / **С. В. Стасенко**, И. А. Лазаревич ; ННГУ. - № 2017617186 ; заявл. 30.06.2017 ; опубл. 30.06.2017, 2017617186 (Рос. Федерация).

3. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программное средство классификации типов нейронов на возбуждающие и тормозные по экспериментальным данным / Т. А. Леванова, А. Д. Рылов, **С. В. Стасенко** ; ННГУ. — № 2021668038 ; заявл. 09.11.2021 ; опубл. 09.11.2021, 2021668038 (Рос. Федерация).

4. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа построения диаграммы режимов колебаний для параметров модели генерации берстов / **С. В. Стасенко** ; ННГУ. - № 2022660314 ; заявл. 01.06.2022 ; опубл. 01.06.2022, 2022660314 (Рос. Федерация).

5. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции модели спайковой нейронной сети в режиме генерации берстов / **С. В. Стасенко** ; ННГУ. - № 2022660312 ; заявл. 01.06.2022 ; опубл. 01.06.2022, 2022660312 (Рос. Федерация).
6. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции модели астроцитарной регуляции вероятности высвобождения нейротрансмиттера / **С. В. Стасенко** ; ННГУ. - № 2022660313 ; заявл. 01.06.2022 ; опубл. 01.06.2022, 2022660313 (Рос. Федерация).
7. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции сверточной нейронной сети с динамическим трехчастным синапсом / И. А. Зимин, **С. В. Стасенко** ; ННГУ. - № 2023667814 ; заявл. 18.08.2023 ; опубл. 18.08.2023, 2023667814 (Рос. Федерация).
8. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа выделения признакового описания изображений с помощью спайковой нейронной сети / А. А. Лебедев, **С. В. Стасенко** ; ННГУ. - № 2023667765 ; заявл. 18.08.2023 ; опубл. 18.08.2023, 2023667765 (Рос. Федерация).
9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа кодирования изображения из базы данных MNIST спайковой нейронной сетью с синаптической пластичностью (STDP) / **С. В. Стасенко** ; С. В. Стасенко. № 2023681444 ; заявл. 13.10.2023 ; опубл. 13.10.2023, 2023681444 (Рос. Федерация).
10. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции нейроморфной модели нейронной сети в процессе распознавания двух одорантов / **С. В. Стасенко**, Кастальский. И.А., Казанцев. В.Б. ; МФТИ. - № 2023683472 ; заявл. 08.11.2023 ; опубл. 08.11.2023, 2023683472 (Рос. Федерация).
11. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции синаптической пластичности (STDP) / **С. В. Стасенко** ; С. В. Стасенко. - № 2023682373 ; заявл. 25.10.2023 ; опубл. 25.10.2023, 2023682373 (Рос. Федерация).

12. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа симуляции нейроморфной архитектуры обработки данных, основанной на гибридной схеме с использованием классического подхода машинного обучения и спайковой нейронной сети / **С. В. Стасенко** ; С. В. Стасенко. № 2023682018 ; заявл. 20.10.2023 ; опубл. 20.10.2023, 2023682018 (Рос. Федерация).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

1. Отзыв официального оппонента, доктора физико-математических наук (01.01.07 – «Вычислительная математика»), профессора, член-корреспондента РАН **Шайдурова Владимира Викторовича**, директора Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук - обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». Отзыв на диссертацию положительный. В отзыве отмечается, что диссертационная работа Стасенко С.В. «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (п. 9-14), а её автор Стасенко Сергей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 5.12.4. – Когнитивное моделирование. Имеются вопросы и замечания: 1) Присутствуют опечатки типа “глиальных клеток”, “ $\alpha Y = 120$ мс... мс”. 2) На стр. 160 сбита нумерация уравнения. 3) Не для всех моделей приведены значения параметров, в частности к модели регуляции глиотрансмиттером ритмогенеза на популяционном уровне. 4) Указана неверная размерность для проводимостей для g_{Na} , g_K и g_L (раздел 5.1). Вместо $мкСм/см^2$ следует указать $мСм/см^2$. 5) Неправильно указана размерность для временных констант ($\alpha_Q, \beta_Q, \alpha_{ECM}, \alpha_P, \alpha_R, \alpha_Y$). Судя по уравнениям должно быть мс-1, а не мс.

По мнению оппонента, перечисленные замечания носят характер опечаток и не затрагивают представленных результатов и выводов. В целом диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, посвященное новым концепциям в моделировании когнитивных процессов в мозге и имеющим прикладное значение для развития нейроморфных вычислительных систем и гибридных подходов анализа данных. Основные научные положения и выводы являются обоснованными и достоверными.

2. Отзыв официального оппонента, доктора физико-математических наук (01.04.03 – «Радиофизика») **Постнова Дмитрия Ангелевича**, профессора, главного научного сотрудника кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Отзыв на диссертацию положительный. В отзыве отмечается, что диссертация Стасенко С.В. «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (пункты 9-14) в редакции от 21.04.2016 г., а ее автор, Стасенко Сергей Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук 5.12.4. — «Когнитивное моделирование. Имеются вопросы и замечания: 1) В начале главы 3 обращает внимание утверждение: «В данной главе исследуются сетевые эффекты влияния глиотрансммиттера на функциональные состояния мозга.» Это утверждение не соответствует содержанию главы, так как анализ последующего текста выявил единственное упоминание, касающегося состояния мозга в целом, на стр.75: «Эта бистабильность на сетевом уровне может способствовать формированию устойчивых состояний в префронтальной коре головного мозга [506].». 2) На стр. 79 читаем: «Для описания изменения активной внеклеточной среды используется среднеполевой подход, позволяющий в простой форме кинетических уравнений

записать связь между концентрациями нейро- и глиотрансмиттерами». На мой взгляд, применение такого подхода сомнительно и, как минимум, требует обоснования. По всей диссертации красной нитью проходит представление о том, что выделение нейротрансмиттеров и глиотрансмиттеров это локальные события, приуроченные если не к отдельному синапсу, то к отдельному нейрону или астроциту. Фактически, таким построением модели заранее предполагается синхронная динамика нейротрансмиттера по всему ансамблю, что, на мой взгляд, снижает ценность данного конкретного результата.

3) Возникает некий конфуз при использовании «модели Ижикевича». Например, на стр.76 автор указывает один литературный источник [5], а чуть ниже, на стр. 91, другой, [517], это разные модели? К тому же, под ссылкой [517] скрывается целая книга, где моделей намного больше, чем одна. Наконец, на стр. 113 это «модифицированная модель Ижикевича [517]», она отличается дополнительным током в правой части, описание которого удалось отыскать на 2 страницы ниже по тексту.

4) Метрики сходства изображений перечислены без расшифровки и объяснений при первом их упоминании в разделе 5.1 на стр. 129, в то время как необходимые пояснения по ним даны десятью страницами ниже, в разделе 5.2.2.

5) В тексте диссертации имеется ряд стилистических погрешностей и жаргонных выражений, например:

Стр. 7: «Модель нейрона Ходжкина-Хаксли [1] стала ключевым исследованием в молекулярно-клеточном изучении мозга.» - вероятно автор имел ввиду построение или разработку модели?

Стр.7: «..в мозгу с недостатком вычислительных мощностей...» - без комментариев.

Стр. 26: «..демонстрируют снижение корковых ритмов и повышенное давление сна, что приводит к длительному бодрствованию и когнитивным нарушениям..»- непонятно, каким образом повышенное давление сна может продлить бодрствование?

Стр. 28: «эндотелиальные клетки головного мозга»- вероятно, имеются ввиду эндотелиальные клетки сосудов?

Стр. 29: «Модель трехчастного синапса показывает участие астроцитов во многих процессах обработки информации в мозгу » -сомневаюсь, что модель сама по себе способна показать это участие.

Вероятно, здесь следует говорить об экспериментальных данных, на которых она основана. Стр. 29: «... астроциты влияют на синхронизацию вверх-вниз в нейронных сетях ... астроциты могут способствовать возникновению реалистичных режимов «вверх-вниз»» Стремление избавиться от англицизмов похвально, но здесь, мне кажется, автор переусердствовал. Достаточно было бы один раз расшифровать общепринятый в нейронауках термин «Up-Down». Стр. 42: «... тормозная пластичность может эффективно генерировать линейную, нелинейную или хаотическую динамику» - научный жаргон. Как можно генерировать динамику. Стр. 43: «Однако конкуренция со стороны разработчиков программного обеспечения подчеркивает необходимость стратегического позиционирования мемристоров в цепочке создания стоимости оборудования..»- фраза настолько выбивается из контекста, что возникает вопрос как она сюда попала? Стр. 99: «...сигнал популяционной активности имеет низкую амплитуду (до 10 Гц), что также влияет на спектр мощности...». Также на стр. 109: «большинство пачек имеет амплитуду до 250 Гц». 6) Текст не свободен от опечаток. Их немного, но есть. Например, на стр. 216 читаем: «С лева на право».

По мнению оппонента, указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Стасенко С.В. Диссертационная работа содержит необходимую совокупность оригинальных научных результатов, обобщений и выводов, которую можно квалифицировать как крупное научное достижение в области когнитивного моделирования.

3. Отзыв официального оппонента, доктора физико-математических наук (05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент **Постникова Евгения Борисовича**, профессора кафедры физики и нанотехнологии, заведующего отделом теоретической физики Научно-исследовательского центра физики конденсированного состояния Курского государственного университета. Отзыв на диссертацию положительный. В отзыве отмечается, что диссертационная работа Стасенко С.В. «Сетевые модели

управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (п. 9-14), а её автор Стасенко Сергей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 5.12.4. – Когнитивное моделирование. Имеются вопросы и замечания: 1) На протяжении большей части работы обсуждаются модели, характеризующие временную зависимость частоты нейрональных осцилляций — следовало бы в начале работы дать четкое определение локальной частоты, которая представляется в работе непрерывными функциями времени, и методов ее определения с математической точки зрения. 2) В разделе 1.3 следовало бы подробнее охарактеризовать физический смысл переменной r_a , которая описана как характеризующая частоту гамма-осцилляций: эта частота соответствует полосе 30-150 Гц, в то время как на рис. 1.6 указаны частоты до 1 Гц. Имеется в виду частота повтора пачек гамма-осцилляций? 3) При обсуждении зависимости частот пачек от вирусной нагрузки сказано, что «график представляет собой монотонно убывающую функцию, обращающуюся в ноль при $\gamma_{virus} \rightarrow 1$ », в то время как данный график на рис. 3.11 содержит максимум, что не только видно визуально, но и подтверждается приведенной функцией, являющейся немонотонной и никогда не обращающейся в ноль вообще. 4) По всему тексту работы наблюдается небрежность с размерностями, например, в первой и второй главе ряд расчетных переменных размерны (и обсуждается соответствие нейрофизиологической реалистичности), а все параметры приведены без размерностей; далее указана неверная размерность для проводимостей для g_{Na} , g_K и g_L (раздел 5.1) – вместо $\text{мкСм}/\text{см}^2$ следует указать $\text{мСм}/\text{см}^2$, а для временных констант ($\alpha_Q, \beta_Q, \alpha_{ECM}, \alpha_P, \alpha_R, \alpha_Y$), судя по уравнениям, должно быть мс^{-1} , а не мс . 5) Не для всех моделей приведены значения параметров, в частности к модели регуляции глиотрансмиссией ритмогенеза на популяционном уровне.

По мнению оппонента, перечисленные замечания относятся к текстовому описанию в диссертации и не ставят под сомнение результаты как таковые, а также не снижают высокой оценки работы.

На автореферат поступило 8 отзывов.

1) Отзыв доктора физико-математических наук (01.04.10 — Физика полупроводников) Андреевой Натальи Владимировны, профессора кафедры микро- и наноэлектроники, ведущего научного сотрудника Научно-образовательного центра «Нанотехнологии», Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им.В.И. Ульянова (Ленина). Отзыв на автореферат положительный.

2) Отзыв доктора технических наук (05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)), профессора Бобыря Максима Владимировича, профессора кафедры программной инженерии Юго-Западного государственного университета. Отзыв на автореферат положительный. Автор делает следующие замечания: 1) В автореферате необходимо было бы более четко подчеркнуть проблему научного исследования, на решение которой направленно диссертационное исследование, а также обратить внимание на существующие аналоги нейронным сетям, например, адаптивные нейро-нечеткие системы вывода, которые в отличие от нейронных сетей с помощью базы нечетких правил могут описывать практически любые процессы принятия решений, свойственные мозговому рассуждению человека. 2) Вследствие поступления на вход сетевой модели различного рода данных (интенсивность пикселей — для классификации изображений, значения напряжений — для управления исполнительными механизмами робототехнических устройств) необходимо было бы описать вычислительную операцию нормализации, используемую для приведения данных к одному диапазону значений, с целью дальнейшей работы функций активации нейронов. 3) Автор не указал, возможно ли учитывать вес каждого из входов сетевой модели, а также, каким образом осуществляется

перераспределение весов в процессе обратного распространения ошибки на каждом из её слоёв.

3) Отзыв доктора биологических наук (01.05.02 — Биофизика), профессора, профессора РАН Гудкова Сергея Владимировича, руководителя Центра биофотоники федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им.А.М Прохорова Российской академии наук» ИОФ РАН. Отзыв на автореферат положительный. Автор делает следующие замечания: 1) В качестве замечания хотелось бы отметить наличие слишком затянутой главы автореферата «Актуальность темы», по моему мнению глава содержит фактологические ошибки. Например, при перечислении ФИО отечественных ученых, занимающихся когнитивным моделированием, диссертант перечисляет «Р.Г. Иваницкий» - на самом деле Генрих Романович Иваницкий, «А.А. Браже» - на самом деле Алексей Рудольфович Браже, «А.Б. Медвинский» - занимался моделированием экосистем и т.д. По существу, предлагаю обсудить в процессе защиты следующее: Как результаты диссертанта приближают нас к переходу от биологических к техническим системам? Что еще необходимо сделать? Какие направления исследований диссертант видит? Как будут вести себя модели диссертанта с электрическими синапсами характерными для некоторых классов животных? Являются ли логические построения автора универсальными или относятся только к процессам происходящим в мозге человека?

4) Отзыв доктора технических наук (2.3.1 - «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»), доцента Захаровой Алены Александровны, главного научного сотрудника лаборатории №80 «Киберфизических систем» ФГБУН «Институт проблем управления им.В.А. Трапезникова РАН». Отзыв на автореферат положительный.

5) Отзыв доктора компьютерных наук (1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) Осадчего Алексея Евгеньевича, директора Центра биоэлектрических интерфейсов, ведущего

научного сотрудника Центра познания и принятия решений, профессора кафедры анализа данных и искусственного интеллекта НИУ «Высшая школа экономики». Отзыв на автореферат положительный. Автор делает следующие замечания: 1) Маленький шрифт подписей на некоторых рисунках автореферата. 2) Не указано как осуществлялось обучение гибридной модели из 6 главы.

6) Отзыв доктора физико-математических наук (01.04.03 - Радиофизика), доцента, профессора РАН Прохорова Михаила Дмитриевича, главного научного сотрудника Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им В.А. Котельникова РАН. Отзыв на автореферат положительный.

7) Отзыв доктора физико-математических наук (1.3.8 - Физика конденсированного состояния) Демина Вячеслава Александровича, первого заместителя руководителя по научной работе Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт». Отзыв на автореферат положительный.

8) Отзыв доктора биологических наук (03.03.01 - Физиология), академика РАН, профессора Штарка Маркса Борисовича, руководителя научного направления Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины. Отзыв на автореферат положительный.

Выбор официальных оппонентов обосновывается соответствием их научных интересов профилю рассматриваемой диссертации, высокой теоретической и профессиональной квалификацией, опытом когнитивных исследований, наличием научных работ по проблематике исследования, в том числе опубликованных в течение последних 5 лет.

Выбор ведущей организации аргументирован соответствием научных трудов сотрудников (П.Д. Бобров, О.В. Мартынова, П.М. Балабан, А.А. Бородинова, А.Ю. Малышев, И.Р. Федотова, В.Г. Марченко) направлению диссертационного исследования, наличием публикаций по проблематике исследования, что подтверждает их компетентность в оценке научной и практической ценности представленной диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

решена крупная научная проблема, связанная с исследованием механизмов влияния активной внеклеточной среды (матрикс, глиа, распределение нейроактивных веществ) на реализацию когнитивных функций (обучение, память, восприятие);

разработан методически целостный подход в построении математических моделей активности структур мозга с учетом активной внеклеточной среды, сформированной глиотрансммитерами и внеклеточным матриксом мозга;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

теория моделирования когнитивных процессов мозга **была развита** в направлении учета активной внеклеточной среды в управлении динамическими режимами синапсов и нейронной активности при реализации когнитивных функций (обучение, память, восприятие);

предложены математические модели управления динамическими режимами синапсов активной внеклеточной средой на временах порядка секунд и минут в рамках среднеполевых моделей популяционной активности нейронов при формировании и управлении ритмогенезом;

разработана популяционная модель пачечной нейронной активности, учитывающая структурное и синаптическое управление динамическими режимами синапсов активной внеклеточной средой на разных временных масштабах при формировании и управлении ритмогенезом;

предложены математические модели первичной обработки визуальной информации в импульсной нейронной сети при пространственном и временном кодировании подаваемого изображения с учетом управления динамическими режимами синапсов активной внеклеточной средой, лежащих в основе сенсорного восприятия;

предложена импульсная нейронная сеть с конкурирующими механизмами управления пачечной активности с учетом мемристивной пластичности и активной внеклеточной среды.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработанный подход **может применяться** при построении «сильного» искусственного интеллекта на основе принципов и механизмов функционирования мозга, в реализации нейроморфных вычислений, гибридных систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей и динамических систем для задач распознавания и классификации изображений, управления робототехническими устройствами;

предложена математическая модель нарушения синхронизации нейронов в мозгу и поддержания ритмогенеза при патологических изменениях активной внеклеточной среды, вызванные, в частности, инфекцией COVID-19;

предложена модель обоняния на основе мемристивной пластичности, позволяющая эффективно распознавать тип и концентрацию предъявляемого запаха и лежащая в основе сенсорного восприятия;

предложена гибридная математическая модель искусственной нейронной сети с эффектом памяти, опосредованной активной внеклеточной средой;

разработаны и зарегистрированы программы ЭВМ, реализующие созданные математические модели и алгоритмы анализа данных;

на основе результатов исследования **разработан** «Способ классификации изображений с помощью спайковой нейронной сети с синаптической пластичностью и алгоритма машинного обучения» и **получен патент на изобретение**.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

разработаны математические модели с использованием современных методов нейродинамики, математическое моделирование информационных

процессов мозга и экспериментальные данные об активной внеклеточной среде, когнитивного моделирования и численных методов;

установлено соответствие авторских результатов диссертационного исследования по тематике диссертации результатам, представленным в независимых источниках;

проведена апробация результатов исследования путем представления на научных конференциях/ семинарах, публикациями в рецензируемых журналах и получением свидетельств на программы ЭВМ и изобретение.

Личный вклад соискателя заключается в участии в формулировке идеи, целей и задач работы, поиске и анализе научных литературных данных, планировании и проведении исследований, разработке и программной реализации математических моделей и алгоритмов анализа данных, обработке, визуализации и анализе полученных результатов, их апробации, обсуждении и обобщении, написанием научных публикаций и личном участии в апробации результатов исследования в научных публикациях и докладах о полученных результатах на международных конференциях и семинарах.

Диссертация Стасенко Сергея Викторовича «Сетевые модели управления динамическими режимами синапсов в реализации обучения и памяти» является целостным, самостоятельным научным исследованием, отличается логичностью и последовательностью изложения, обоснованностью сделанных выводов. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях. В тексте работы С.В. Стасенко корректно ссылается на авторов и источники материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени лично и в соавторстве.

В ходе защиты диссертации членами диссертационного совета и присутствующими слушателями были высказаны вопросы и критические замечания о непротиворечивости представленных автором моделей управления динамическими режимами синапсов друг другу, о возможности нахождения решений, для которых еще не выявлено экспериментальных фактов.

Соискатель Стасенко С.В. аргументированно ответил на задаваемые в ходе заседания вопросы и привел аргументацию, основанную на выводах, полученных на разных этапах теоретического и эмпирического исследования.

На заседании 19 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей значение для когнитивных наук, когнитивного моделирования, междисциплинарного исследования когнитивных процессов, присудить Стасенко С.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности 5.12.4 Когнитивное моделирование, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту человек – нет, проголосовали: за присуждение ученой степени – «11», против присуждения ученой степени – «1».

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.340.15
доктор биологических наук, доцент
Парин Сергей Борисович



Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.340.15
доктор социологических наук, доцент
Петрова Ирина Эдуардовна

19 декабря 2024 г.