

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и инновациям
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю. А.»
доктор химических наук, профессор




Игорь Геннадьевич Остроумов

«18» мая 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

Диссертация Сысоевой Марины Вячеславовны «Математическое и радиофизическое моделирование эпилептической активности мозга» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.4. «Радиофизика» и 1.5.2. «Биофизика» выполнена на кафедре «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ имени Гагарина Ю. А. В период подготовки диссертации соискатель работала по основному месту работы ассистентом, затем доцентом на кафедре «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ имени Гагарина Ю. А.

В 2011 году М. В. Сысоева окончила магистратуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки «Биомедицинская инженерия». В 2015 году защитила диссертацию на тему «Особенности реализации метода причинности по Грейнджеру для исследования электроэнцефалограмм при абсансной эпилепсии» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 03.01.02 «Биофизика» и 01.04.03 «Радиофизика».

Тема диссертации и научные консультанты: Сысоев Илья Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и автоматического управления ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» и Купцов Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Приборостроение» СГТУ имени Гагарина Ю. А. утверждены приказом проректора по учебной работе СГТУ имени Гагарина Ю. А. Калгановой С. Г. №1093-С от 17.08.2021 г.

Результаты диссертации были представлены и обсуждены на расширенном заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Института электронной техники и приборостроения СГТУ имени Гагарина Ю. А. с приглашением специалистов по профилю работы из других подразделений.

На заседании присутствовали:

1. Никифоров Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, директор Института электронной техники и приборостроения;
2. Балакин Максим Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
3. Зимняков Дмитрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Физика»;
4. Кондратов Дмитрий Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем»;
5. Мельников Леонид Аркадьевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Приборостроение»;
6. Мирошниченко Алексей Юрьевич, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Электронные приборы и устройства»;
7. Комаров Вячеслав Вячеславович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
8. Царёв Владислав Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электронные приборы и устройства»;
9. Львов Алексей Арленович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
10. Купцов Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Приборостроение»;
11. Сысоев Илья Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и автоматического управления ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
12. Станкевич Наталия Владимировна, кандидат физико-математических наук, PhD (physics), доцент, профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
13. Дорошенко Валентина Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
14. Дрогайцева Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»;
15. Ушакова Ольга Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Системотехника и управление в технических системах».

Слушали доклад М. В. Сысоевой, изложившей основное содержание и результаты диссертационной работы. Докладчику были заданы вопросы от В. В. Комарова, Д. А. Зимнякова, А. А. Львова, Д. В. Кондратова, М. И. Балакина, В. М. Дорошенко.

Рецензенты диссертации:

1. Комаров Вячеслав Вячеславович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» предоставил положительный отзыв, отметив большой объём и ценность тематики работы;
2. Мирошниченко Алексей Юрьевич, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Электронные приборы и устройства» предоставил положительный отзыв, отметив высокий научный уровень достигнутых результатов;
3. Львов Алексей Арленович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» предоставил положительный отзыв.

Таким образом, по итогам обсуждения диссертации Сысоевой М.В. «Математическое и радиофизическое моделирование эпилептической активности мозга»,

представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.4. «Радиофизика» и 1.5.2. «Биофизика», принято следующее Заключение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Личное участие соискателя. Все излагаемые и защищаемые положения и результаты работы получены непосредственно автором либо под её руководством. Автор принимала участие в написании всех статей по теме диссертации и постановке задачи всех исследований. Автор диссертации были разработаны алгоритмы программ для реализации предложенных в диссертации подходов и методик, получены свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Работы, посвящённые обработке экспериментальных биологических данных, были выполнены совместно с зарубежными и российскими коллегами-физиологами: Ж. ван Луйтелааром, К. ван Рейн, А. Люттйоханн, М. Перескисом, М. Шмык, Г.Д. Кузнецовой, Л.В. Виноградовой, Е.Ю. Ситниковой. Физиологами были предоставлены экспериментальные данные и сделана физиологическая интерпретация результатов математической обработки, полученных непосредственно автором, в том числе с помощью программных комплексов, написанных автором, на которые были получены свидетельства об официальной регистрации. Работы, посвящённые разработке методов обработки данных, прямому математическому и радиофизическому моделированию, были выполнены совместно с учениками автора: Т.М. Медведевой, А.А. Грищенко, А.Ю. Долининой, Н.М. Егоровым. Кроме них вклад в работу в части консультирования по проведению радиофизического эксперимента внёс профессор В.И. Пономаренко.

Степень достоверности полученных результатов. Достоверность выводов о направлении и временной динамике связанности, полученных в работе, основана на: во-первых, использовании различных методов статистической оценки, включая как статистические критерии, так и использование суррогатных данных и введение поправок на множественное тестирование, во-вторых, апробацией подходов на модельных данных, имеющих аналогичные форму, амплитуду и спектральный состав. Адекватность мезомасштабных математических моделей эпилептиформной активности и достоверность воспроизведения ими наблюдаемой динамики основана на сопоставлении не только амплитудных и спектральных характеристик модельных и экспериментальных сигналов, но и на результатах анализа связанности по модельным данным, которые с использованием тех же эмпирических моделей воспроизводят оценки, полученные в эксперименте. Достоверность результатов радиофизического эксперимента обоснована их соответствием теоретически ожидаемым рассчитанным в математическом моделировании значениям и повторяемостью в различных экспериментах.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. В работе впервые произведена адаптация методов оценки направленной связанности на основе причинности по Грейнджеру и расчёта частной направленной когерентности к экспериментальным данным локальных потенциалов мозга. Эта адаптация включает выбор большого числа параметров методов на основе анализа временных масштабов экспериментальных сигналов и изучения динамики их феноменологических математических моделей. Она позволяет значимо повысить чувствительность и специфичность, сократить, иногда в несколько раз, требования к длине временных рядов. Таким образом работа открывает возможность исследования динамики взаимодействий в мозге с ранее недостижимым временным разрешением.
2. Полученные в работе результаты по организации связей в таламокортикальной и лимбической системах мозга являются новыми и уникальными как с точки зрения временного разрешения динамики процессов, так и с точки зрения числа

задействованных структур мозга и повторения ряда оценок на основе данных из различных нейрофизиологических экспериментов. В частности, осуществлена ранее недостижимо ранняя (за 3 с до начала разряда) диагностика изменений в связанности, сопутствующих началу пик-волновых разрядов, а также детектировано наличие как минимум двух, заметно различных по структуре связей, стадий протекания лимбических эпилептических разрядов.

3. В работе впервые построены и исследованы мезомасштабные математические модели пик-волновых разрядов в таламокортикальной системе мозга. В литературе известны только мезомасштабные модели таламокортикальной системы, построенные только для моделирования переходов между сном и бодрствованием, либо формальные модели «объявленные» таковыми, но далёкие от физиологически обоснованных, в которых, например, все нейроны моделировались фазовыми осцилляторами, что очень ограничивает возможности: ни рост амплитуды или изменение формы колебаний, ни различие между возбуждающими и тормозящими взаимодействиями, ни специфика организации таламокортикальной сети (разрешённые и запрещённые физиологически типы связей) не могли быть учтены. Для построенных мезомасштабных моделей впервые проведён целый цикл исследований, в том числе: построение различных по размеру моделей эпилептической подсети (проверка масштабируемости модели), в том числе малых, редуцированных моделей, их частичный бифуркационный анализ; построение класса моделей, различающихся конкретными матрицами связей и демонстрирующих различия в выраженности эпилептиформной активности; реализация в одной модели нескольких различных известных из литературы сценариев запуска и прекращения воздействия, включая моделирование лечебного электрофизиологического воздействия; тестирование построенных моделей методами анализа связанности, ранее применявшимися к экспериментальным данным.
4. В работе впервые разработаны ряд принципов генерации основного ритма лимбической эпилепсии, предложена схема генератора ритма с перестраиваемой частотой и запаздыванием в связях.
5. В работе впервые выполнено натурное радиофизическое моделирование генерации пик-волновых разрядов с помощью экспериментальной схемы, также созданной впервые на основе ранее полученных в математических моделях результатов. В этой схеме проведён частичный бифуркационный анализ, впервые в натурном эксперименте обнаружены и исследованы длинные, квазирегулярные переходные процессы, имеющие ряд свойств, присущих экспериментально наблюдаемым пик-волновым разрядам. Существование таких длинных переходных процессов ранее считалось многими исследователями маловероятным в силу предположения об их структурной неустойчивости и поэтому, трудности наблюдения в эксперименте. Это предположение было опровергнуто в данной работе.
6. В работе впервые собрана и исследована натурная схема генератора ритма лимбической эпилепсии в виде кольца однонаправленного связанных нейронов. Для его реализации создана оригинальная, ранее неизвестная аналоговая схема синапса, реализующего запаздывание при распространении сигнала через реальный химический синапс. Показано, что в собранной схеме реализуются те же режимы генерации, что и в математической модели.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы состоит в следующем. В работе показана принципиальную важность использования всех основных достижений нелинейной динамики при анализе сигналов: только применение нелинейных, специализированных моделей с неравномерным вложением дало возможность добиться

качественно новых, статистически значимых, стабильных и согласованных с экспериментом результатов. Таким образом, на примере практически важной задачи было показано, что достигнутый за последние десятилетия прогресс в разработке подходов к эмпирическому моделированию не является «результатами в себе», а действительно при должном мастерстве исследователя и учёте специфики объекта исследования можно качественно улучшить понимание наблюдаемых явлений при том же уровне измерительной техники. Построенные в работе макромасштабные модели эпилептиформной активности показали свою высокую полезность для тестирования алгоритмов оценки связанности в сложных случаях, когда аналогичные изменения амплитуды и спектра сигнала могут быть обусловлены различными причинами или когда изменения взаимодействия в течение длительного времени не проявляются в динамике. Полученные в работе результаты по воспроизведению длинных переходных процессов в радиофизическом эксперименте имеют огромное фундаментальное значение, поскольку показывают грубость такого типа динамики в системах реального мира и, значит, доказывают перспективность использования описания в виде переходных процессов для многих колебательных процессов, которые ранее рассматривались как колебания на аттракторе, возмущённые шумом. Разработанные в рамках радиофизического моделирования модели отдельных нейронов могут быть использованы как для построения систем искусственного интеллекта и принятия решений, так и для нейропротезирования. Построенный в рамках работы над радиофизическим моделированием фокальной подсети лимбической эпилепсии генератор периодических колебаний импульсных, перестраиваемый по частоте, может быть полезен как источник сигналов в различных радиофизических приложениях.

Публикации по теме исследования. Результаты диссертации опубликованы в 1 монографии, 23 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, все из которых индексируются в базах данных Web of Science и/или Scopus (6 статей в журналах из группы Q1, 4 статьи – из группы Q2, 9 статей – из группы Q3 и 4 статьи – из группы Q4), 11 статьях в сборниках трудов конференций, индексируемых Web of Science и/или Scopus; также в ходе работы над диссертацией получены 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объём опубликованных по теме диссертации работ составил 475 мп. стр., в том числе в журналах из перечня ВАК — 267 мп. стр.

Статьи в научных рецензируемых в журналах, входящих в международные базы Web of Science и Scopus, рекомендованные ВАК РФ:

1. **Сысоева М. В.**, Ситникова Е. Ю., Сысоев И. В. Таламо-кортикальные механизмы инициации, поддержания и прекращения пик-волновых разрядов у крыс WAG/Rij // Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова. — 2016. — Т. 66, № 1. — С. 103—112. — DOI: 10.7868/S0044467716010123.
2. Астахова Д. И., **Сысоева М. В.**, Сысоев И. В. Влияние нелинейности на оценки связанности осцилляторов методом частной направленной когерентности // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2019. — Т. 27, № 6. — С. 8—24. — DOI: 10.18500/0869-6632-2019-27- 6-8-24.
3. Грищенко А. А., **Сысоева М. В.**, Сысоев И. В. Определение основного временного масштаба эволюции информационных свойств сигнала локальных потенциалов мозга при абсансной эпилепсии // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2020. — Т. 28, № 1. — С. 98—110. — DOI: 10.18500/0869-6632-2020-28-1-98-110.
4. Grishchenko A. A., **Sysoeva M. V.**, Medvedeva T. M., van Rijn C. M., Bezruchko B. P., Sysoev I. V. Comparison of approaches to directed connectivity detection in application

- to spike-wave discharge study // *Cybernetics and Physics*. — 2020. — Vol. 9, no. 2. — P. 86–97. — DOI: 10.35470/2226-4116-2020-9-2-86-97.
5. **Sysoeva M. V.**, Lüttjohann A., van Luijtelaar G., Sysoev I. V. Dynamics of directional coupling underlying spike-wave discharges // *Neuroscience*. — 2016. — Vol. 314. — P. 75–89. — DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.11.044.
 6. **Sysoeva M. V.**, Vinogradova L. V., Kuznetsova G. D., Sysoev I. V., van Rijn C. M. Changes in cortico-cortical and cortico-hippocampal network during absence seizures in WAG/Rij rats revealed with time varying Granger causality // *Epilepsy & Behavior*. — 2016. — Vol. 64. — P. 44–50. — DOI: 10.1016/j.yebeh.2016.08.009.
 7. Smyk M. K., Sysoev I. V., **Sysoeva M. V.**, van Luijtelaar G., Drinkenburg W. H. Can absence seizures be predicted by vigilance states?: Advanced analysis of sleep–wake states and spike–wave discharges’ occurrence in rats // *Epilepsy & Behavior*. — 2019. — Vol. 96. — P. 200–209. — DOI: 10.1016/j.yebeh.2019.04.012.
 8. Dolinina A. Y., van Rijn C. M., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Detection of spike-wave discharge restarts in genetic rat model based on frequency dynamics // *Cybernetics and Physics*. — 2022. — Vol. 11, no. 3. — P. 121–130. — DOI: 10.35470/2226-4116-2022-11-3-121-130.
 9. Sysoev I. V., Perescis M. F., Vinogradova L. V., **Sysoeva M. V.**, van Rijn C. M. Directional functional coupling during limbic seizures in rats revealed by nonlinear Granger causality // *Russian Open Medical Journal*. — 2018. — Vol. 7, no. 4. — P. 404. — DOI: 10.15275/rusomj.2018.0404.
 10. **Сысоева М. В.**, Виноградова Л. В., Перескис М., ван Рейн К. М., Сысоев И. В. Выявление изменений направленных межструктурных связей при лимбических судорогах, вызванных введением антагониста эндоканнабиноидных рецепторов, методом нелинейной причинности по Грейнджеру // *Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова*. — 2019. — Т. 69, № 6. — С. 752–767. — DOI: 10.1134/S0044467719060121.
 11. Sysoev I. V., **Sysoeva M. V.** Detecting changes in coupling with Granger causality method from time series with fast transient processes // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. — 2015. — Vol. 309. — P. 9–19. — DOI: 10.1016/j.physd.2015.07.005.
 12. **Сысоева М. В.**, Кузнецова Г. Д., Сысоев И. В. Моделирование сигналов электроэнцефалограмм крыс при абсансной эпилепсии в приложении к анализу связанности между отделами мозга // *Биофизика*. — 2016. — Т. 61, № 4. — С. 782–792. — DOI: 10.1134/S0006350916040230.
 13. **Сысоева М. В.**, Медведева Т. М. Оптимизация параметров метода причинности по Грейнджеру для исследования лимбической эпилепсии // *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*. — 2018. — Т. 26, № 5. — С. 39–62. — DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-5-39-62.
 14. Medvedeva T. M., Lüttjohann A. K., **Sysoeva M. V.**, van Luijtelaar G., Sysoev I. V. Estimating complexity of spike-wave discharges with largest Lyapunov exponent in computational models and experimental data // *AIMS Biophysics*. — 2020. — Vol. 7, no. 2. — P. 65–75. — DOI: 10.3934/biophy.2020006.
 15. Medvedeva T. M., **Sysoeva M. V.**, van Luijtelaar G., Sysoev I. V. Modeling spike-wave discharges by a complex network of neuronal oscillators // *Neural Networks*. — 2018. — Vol. 98. — P. 271–282. — DOI: 10.1016/j.neunet.2017.12.002.
 16. Medvedeva T. M., **Sysoeva M. V.**, Lüttjohann A., van Luijtelaar G., Sysoev I. V. Dynamical mesoscale model of absence seizures in genetic models // *PLoS ONE*. — 2020. — Vol. 15, no. 9. — e239125. — DOI: 10.1371/journal.pone.0239125.

17. Капустников А. А., **Сысоева М. В.**, Сысоев И. В. Моделирование пик-волновых разрядов в мозге малыми сетями нейроосцилляторов // Математическая биология и биоинформатика. — 2020. — Т. 15, № 2. — С. 138–147. — DOI: 10.17537/2020.15.138.
18. Kapustnikov A. A., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Transient dynamics in a class of mathematical models of epileptic seizures // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. — 2022. — Vol. 109. — P. 106284. — DOI: 10.1016/j.cnsns.2022.106284.
19. Егоров Н. М., Пономаренко В. И., Сысоев И. В., **Сысоева М. В.** Имитационное моделирование эпилептиформной активности сетью нейроподобных радиотехнических осцилляторов // Журнал технической физики. — 2021. — Т. 91, № 3. — С. 519—528. — DOI: 10.21883/JTF.2021.03.50532. 237-20.
20. Егоров Н. М., Пономаренко В. И., Мельникова С. Н., Сысоев И. В., **Сысоева М. В.** Общность механизмов возникновения безаттракторных колебательных режимов в радиотехнических моделях таламокортикальной сети мозга // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2021. — Т. 29, № 6. — С. 927—942. — DOI: 10.18500/0869-6632-2021- 29-6-927-942.
21. Egorov N. M., Kulminskiy D. D., Ponomarenko V. I., Sysoev I. V., **Sysoeva M. V.** Transient dynamics in electronic neuron-like circuits in application to modeling epileptic seizures // Nonlinear Dynamics. — 2022. — Vol. 108, no. 4. — P. 4231–4242. — DOI: 10.1007/s11071-022-07379-6.
22. Egorov N. M., Sysoev I. V., Ponomarenko V. I., **Sysoeva M. V.** Complex regimes in electronic neuron-like oscillators with sigmoid coupling // Chaos, Solitons & Fractals. — 2022. — Vol. 160. — P. 112171. — DOI: 10.1016/j.chaos.2022.112171.
23. Егоров Н. М., **Сысоева М. В.**, Пономаренко В. И., Корнилов М. В., Сысоев И. В. Кольцевой генератор нейроподобной активности с перестраиваемой частотой // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2023. — Т. 31, № 1. — С. 103—120. — DOI: 10.18500/0869-6632- 003025.

Монография по теме диссертации:

24. Сысоев И. В., Корнилов М. В., **Сысоева М. В.** Причинность по Грейнджеру: разработка, тестирование, приложение к задачам нейрофизиологии. — Саратов : Издательство Саратовского университета, 2019. — 164 с.

Статьи в периодических сборниках трудов конференций, индексируемых в Web of Science и SCOPUS:

25. Grishchenko A. A., **Sysoeva M. V.**, van Rijn C., Sysoev I. V. Detecting best lag of embedding for modeling spike-wave discharges from experimental data // Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE. Vol. 11459. — 2020. — 114590H. — DOI: 10.1117/12.2563453.
26. **Sysoeva M. V.**, Kuznetsova G. D., van Rijn C. M., Sysoev I. V. Cannabis agonist injection effect on the coupling architecture in cortex of WAG/Rij rats during absence seizures // Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE. Vol. 9917. — 2016. — P. 99171X. — DOI: 10.1117/12.2225578.
27. **Sysoeva M. V.** Rearranging the coupling architecture in the brain in response to the introduction of various endocannabinoid receptor ligands // 4th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics, DCNAIR 2020. Vol. 9216763. — 2020. — P. 242–244. — DOI: 10.1109/DCNAIR50402.2020.9216763.
28. **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V., Medvedeva T. M., Suleymanova E. M., Vinogradova L. V. Reconstruction and Modeling of Coupling Architecture in the Brain at Limbic Epilepsys

- // 2nd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics, DCNAIR 2018. — 2018. — P. 137–138. — DOI: 10.1109/DCNAIR.2018.8589208.
29. Medvedeva T. M., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Coupling analysis between thalamus and cortex in mesoscale model of spike-wave discharges from time series of summarized activity of model neurons // 2nd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics, DCNAIR 2018. — 2018. — P. 137–138. — DOI: 10.1109/DCNAIR.2018.8589208.
 30. Medvedeva T. M., Kapustnikov A. A., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Modeling spike and wave discharge initiation, maintenance and termination with hierarchical networks of neurooscillators // 4th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics, DCNAIR 2020. Vol. 9216862. — 2020. — P. 172–174. — DOI: 10.1109/DCNAIR50402.2020.9216862.
 31. Kapustnikov A. A., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. A class of simple networks for modeling spike-wave discharges // Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE. Vol. 11847. — 2021. — P. 1184703. — DOI: 10.1117/12.2589493.
 32. Kapustnikov A. A., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Studying response to external driving in a model of thalamocortical system with specialized neuron equations // 6th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Applications, DCNA 2022. — 2022. — P. 116–118. — DOI: 10.1109/DCNA56428.2022.9923221.
 33. Egorov N. M., Sysoev I. V., **Sysoeva M. V.** Epileptiform activity simulation by a network of neural-like radioengineering oscillators // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2020. Vol. 9255423. — 2020. — P. 327–331. — DOI: 10.1109/APEDE48864.2020.9255423.
 34. Egorov N. M., Ponomarenko V. I., **Sysoeva M. V.**, Sysoev I. V. Epileptiform activity generation by an ensemble of simplified electronic FitzHugh-Nagumo oscillators connected by a linear couplings // 5th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Applications, DCNA 2021. — 2021. — P. 65–68. — DOI: 10.1109/DCNA53427.2021.9586902.
 35. Egorov N. M., Sysoev I. V., Ponomarenko V. I., **Sysoeva M. V.** Epileptiform activity generation by an ensemble of complete electronic FitzHugh-Nagumo oscillators connected by a sigmoid couplings // Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE. Vol. 12194. — 2022. — P. 1219403. — DOI: 10.1117/12.2623993.

Апробация результатов исследования.

Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях: “Saratov Fall Meeting” (Saratov, 2016, 2020, 2021, 2022), “Dynamics of Complex Networks and their Application” (Saratov, 2017, 2018; Innopolis, 2020, Kaliningrad, 2021, 2022), “Actual Problems of Electron Devices Engineering” (Saratov, 2020), “Nanoparticles, nanostructured coatings and microcontainers: technology, properties, applications” (Saratov, 2015), “Neuroscience for Medicine and Psychology” (Sudak, 2018, 2020, 2022), «Современная нейробиология: достижения, закономерности, проблемы, инновации, технологии» (Уфа, 2015), «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине» (Саратов, 2015, 2019, 2020, 2021), «Современные проблемы биофизики, генетики, электроники и приборостроения» (Саратов, 2015, 2018), «Нелинейные волны» (Нижний Новгород, 2016, 2020), «Актуальные вопросы фундаментальной и экспериментальной биологии» (Уфа, 2016), «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (Саратов, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021), «ХАОС» (Саратов, 2016, 2019), «Молекулярная биотехнология» (Уфа, 2017), «Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения» (Астрахань, 2018, 2020), «Информационные технологии и технические

средства управления» (Астрахань, 2021, 2022), Съезд биофизиков России (Сочи 2019, Краснодар 2023), «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях» (Нижний Новгород, 2019, 2021), «Нелинейные дни в Саратове для молодых» (Саратов, 2021, 2023), «Математические методы в технологиях и технике» (Ярославль 2022), «Нейроинформатика» (Долгопрудный, 2022), «Современная нейробиология: фундаментальные исследования и практические аспекты» (Уфа, 2022).

Гранты научных фондов. Исследования, вошедшие в данную диссертационную работу, были поддержаны следующими научными фондами:

- Российский научный фонд, проекты №14-12-00291 (исполнитель), №19-12-00201 (исполнитель), №19-72-10030 (основной исполнитель), №21-72-00015 (руководитель);
- Российский фонд фундаментальных исследований, проекты №13-02-00227 (исполнитель), №14-02-00492 (исполнитель), №16-34-00203 (исполнитель), №17-02-00307 (исполнитель), №19-02-00071 (исполнитель);
- Грант Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, НШ-1726.2014.4 (исполнитель);
- Стипендия Президента РФ молодым учёным и аспирантам СП-3605.2018.4 (руководитель).

Материалы диссертации полностью отражены в научных работах, опубликованных автором. Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылок на авторов, а также материалов совместных работ без ссылок на соавторов.

Содержание диссертации соответствует специальностям 1.3.4. «Радиофизика» и 1.5.2. «Биофизика» (физико-математические науки). А именно, содержание глав 6 и 7 соответствует п. 1 специальности «Разработка физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы» в том числе в биологических системах. Кроме того, при разработке и анализе данных в главах 1-5 использованы базовые модели радиофизики и нелинейной динамики, например, осцилляторы ван дер Поля, Бонхёффера, Рёсслера, для анализа данных рассчитывался по временным рядам старший ляпуновский показатель, исследовались бифуркационные механизмы, приводящие к искомому модельному поведению как в динамических, так и в стохастических системах: биологических, радиофизических, математических. Эти результаты соответствуют пункту 4 паспорта специальности 1.3.4. «Радиофизика», в который включены «исследование флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределенных стохастических системах», «создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех» и «исследование нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных физических, биологических, химических и экономических системах». Содержание глав 1-5 соответствует п. 1 часть 4 паспорта специальности «Биофизика» («Биофизика сложных систем») и п. 3. «Разработка математических моделей биологических объектов как сложных нелинейных физических систем. Исследование явлений пространственно-временной самоорганизации, саморегуляции и самоуправления в биологических системах, включая методы неравновесной термодинамики и синергетики».

Диссертационная работа М. В. Сысоевой удовлетворяет требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание учёной степени доктора наук.

Диссертация «Математическое и радиофизическое моделирование эпилептической активности мозга» Сысоевой Марины Вячеславовны рекомендуется к защите на

соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.4. «Радиофизика» и 1.5.2. «Биофизика».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ имени Гагарина Ю. А.

Присутствовало на заседании 15 человек, из них с правом решающего голоса 9 докторов наук, 6 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты голосования: «за» — 15 чел.; «против» — 0 чел.; «воздержалось» — 0 чел. (протокол №10 от 16.05.2023 г. расширенного заседания кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ имени Гагарина Ю. А.).

Заведующий кафедрой
«Радиоэлектроника и
телекоммуникации»



Балакин Максим Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»