

**Заключение диссертационного совета ИПМАШ 2.3.1.
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

Решение диссертационного совета от «5» декабря 2023 г. №2.

О присуждении **Семенову Даниле Михайловичу** ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Управляемая синхронизация в сетях нейронов Хиндмарша-Роуза» по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 26 октября 2023 г. (протокол заседания № 4/23) диссертационным советом ИПМАШ 2.3.1.

Соискатель Семенов Данила Михайлович, 1990 года рождения, в 2014 г. окончил бакалавриат в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» по направлению подготовки 010500 «Прикладная математика и информатика». В 2019 г. окончил магистратуру с отличием в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». В 2023 г. окончил аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика».

В период с 2017 года и по настоящее время соискатель работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) в лаборатории «Управление сложными системами».

Диссертация выполнена в лаборатории «Управление сложными системами» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН)

Научный руководитель – Александр Львович Фрадков, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН), лаборатория «Управление сложными системами».

Официальные оппоненты:

Сысоев Илья Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и автоматического управления, СГУ;

Смирнова Вера Борисовна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математики, СПбГАСУ

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, в своем положительном отзыве, подписанном Храмовым Александром Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником, руководителем Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта БФУ им. И. Канта и утвержденном Деминым Максимом Викторовичем, кандидатом физико-математических наук, проректором по научной работе, указала, что тема диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является актуальной и новой. Задачи управления синхронизацией в динамических сетях – одни из самых сложных и интересных задач в современной науке.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе 4 в изданиях из перечня научных журналов, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов диссертаций, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus.

Перечень публикаций Д.М. Семенова:

1. Семенов Д. М. Управление синхронизацией двух связанных систем Хиндмарш-Роуз // Управление большими системами. – 2018. – № 75. – С. 30–49
2. Семенов Д. М. Управляемая синхронизация двух связанных нейронных моделей Хиндмарш-Роуз при наличии возмущений // XVIII научная школа «Нелинейные волны-2018»: тезисы докладов молодых ученых. Н. Новгород: Изд-во ИПФ РАН, 2018. С. 168–170.
3. Семенов Д. М. Адаптивная синхронизация гетерогенной сети Хиндмарша-Роуз // XIX научная школа «Нелинейные волны»: тезисы докладов молодых ученых. Н. Новгород: Изд-во ИПФ РАН, 2020. С. 226–227.
4. Semenov D. M., Fradkov A. L. Adaptive synchronization of two coupled non-identical Hindmarsh-Rose systems by the Speed Gradient method // IFAC PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51, Issue 33. – P. 12–14.

5. Semenov D. M., Fradkov A. L. Adaptive synchronization for the heterogeneous network of Hindmarsh-Rose neurons // 2020 European Control Conference (ECC). IEEE, 2020. P. 306–308.
6. Semenov D. M., Fradkov A. L. Adaptive control of synchronization for the heterogeneous Hindmarsh-Rose network // IFAC-PapersOnLine. – 2020. – Vol. 51, Issue 5. – P. 146–151.
7. Semenov D. M., Fradkov A. L. Adaptive synchronization in the complex heterogeneous networks of Hindmarsh-Rose neurons // Chaos, Solitons & Fractals. – 2022. – Vol. 150. – 111170.
8. Semenov D. M., Plotnikov S. A., Fradkov A. L. Controlled synchronization in regular delay-coupled networks of Hindmarsh-Rose neurons // 2022 6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA). IEEE, 2022. P. 236-239.

В первой главе диссертационной работы приводятся вспомогательные сведения, необходимые для формулировки и доказательства основных результатов.

Во второй главе доказана предельная ограниченность сети нейронов Хиндмарша-Роуза и получена оценка на предельное множество, к которому стремятся траектории сети. Доказательство основано на применении метода функций Ляпунова. Результат опубликован в работе [7].

Третья глава посвящена управлению синхронизацией двух связанных нейронов Хиндмарша-Роуза при наличии равномерно ограниченных возмущений, действующих на уравнения динамики. В теоретической части главы получены условия, при которых имеет место приближенная синхронизация между нейронами. Работоспособность предложенного алгоритма управления обоснована методом функций Ляпунова и подтверждается численным моделированием. Результат опубликован в работах [1, 2].

Четвертая глава посвящена управлению синхронизацией в сети нейронов Хиндмарша-Роуза при помощи адаптивного закона управления, синтезированного на основе метода скоростного градиента. Сходимость синтезированного алгоритма управления подтверждается численным моделированием, описанным в последнем разделе главы. Результат опубликован в работах [3, 4, 5, 6].

Пятая глава также посвящена адаптивному управлению синхронизацией в сети нейронов Хиндмарша-Роуза. На этот раз в качестве настраиваемого параметра рассматривается сила связи между нейронами в сети. Настройка силы связи также происходит по методу скоростного градиента. Сходимость синтезированного алгоритма управления, как и в прошлой главе, подтверждается численным моделированием, описанным в последнем разделе главы. Результат опубликован в работе [7].

Шестая глава посвящена управлению синхронизацией в сети нейронов Хиндмарша-Роуза с запаздывающими связями. В данной главе предложен алгоритм управления сетью, обеспечивающий синхронизацию нейронов при любых постоянных задержках в связях. Анализ основан на методе функционалов Ляпунова-Красовского для постоянных или медленно меняющихся задержек. Теоретические результаты первой части главы согласуются с численным моделированием, результаты которого представлены в последнем разделе главы. Результат опубликован в работе [8].

В заключении перечислены основные результаты работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Доказана предельная ограниченность траекторий сети нейронов Хиндмарша-Роуза и **получена** оценка предельного множества (Теорема 2.1).

Синтезирован алгоритм управления и **установлено** условие синхронизации двух связанных нейронов Хиндмарша-Роуза при наличии ограниченных возмущений, входящих в правые части уравнений сети (Теорема 3.1).

Разработан адаптивный алгоритм управления на основе метода скоростного градиента, обеспечивающий синхронизацию в сети между нейронами Хиндмарша-Роуза без предварительной информации о параметрах модели (Теорема 4.1).

На основе метода скоростного градиента **разработан** адаптивный алгоритм настройки силы связи, позволяющий перевести сеть в синхронный режим функционирования (Теорема 5.1).

Синтезирован алгоритм управления, позволяющий синхронизировать нейроны в сети при наличии запаздывающих связей, т.е. связей, в которых присутствуют временные задержки (Теорема 6.1).

На автореферат поступило 3 отзыва, все положительные:

1. Отзыв профессора Высшей школы механики и процессов управления СПбПУ, доктора технических наук, профессора Яковиса Л.М.
2. Отзыв члена-корреспондента РАН, заведующего отделом нелинейной динамики Института прикладной физики РАН, доктора физико-математических наук, профессора Некоркина В.И.
3. Отзыв заведующего кафедрой теории управления и динамики систем Института информационных технологий, математики и механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, доктора физико-математических наук, доцента Осипова Г.В.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учеными, и имеют публикации, соответствующие теме диссертации, в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет в области исследования динамических сетей и синхронизации в них.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что БФУ им. Канта является ведущим российским вузом, известным передовыми исследованиями в области теоретической, экспериментальной и прикладной физики, математики, информатики, теории управления, химии, биологии и смежных дисциплин, широко известным своими достижениями в областях управления синхронизацией в ансамблях математических моделей биологических нейронных сетей, и способен определить научную и практическую ценность диссертации. Работники ведущей организации имеют публикации, соответствующие теме диссертации, в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, где на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области управления синхронизацией динамических сетей.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Результаты, выносимые на защиту, являются новыми и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку.

На заседании 5 декабря 2023 г. Диссертационный совет ИПМАШ 2.3.1. принял единогласное решение, что диссертационная работа Семенова Данилы Михайловича «Управляемая синхронизация в сетях нейронов Хиндмарша-Роуза» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи. Диссертационная работа полностью соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт Проблем Машиноведения Российской академии наук, а её автор Семенов Д.М. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек (в удаленном интерактивном режиме присутствовало 2 человека), из них 4 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0

человек, проголосовали: за присуждение ученой степени - 9, против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председательствующий

диссертационного совета ИПМАН 2.3.1.,
доктор физико-математических наук, профессор

М.П.

Граничин

Олег Николаевич



Ученый секретарь

диссертационного совета ИПМАН 2.3.1.,
доктор физико-математических наук

Долгополик

Максим Владимирович

Дата оформления заключения: 5.12.2023 г.