



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по экономике и финансам
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Большаков В.А.

"3" декабря 2025 г.

О Т З Ы В

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» на диссертацию Евстифеева Евгения Валентиновича «Исследование особенностей перемежающегося поведения на границе обобщенной синхронизации в однонаправленно и взаимно связанных хаотических системах с различной топологией аттрактора», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Евстифеева Евгения Валентиновича посвящена изложению результатов исследования перемежающегося поведения, имеющего место вблизи границы обобщенной синхронизации в потоковых системах с различной топологией аттрактора и дискретных отображениях. Это направление научных исследований представляется в настоящее время достаточно актуальным и перспективным, привлекающим пристальное внимание ученых различных стран мира, работающих не только в области радиофизики, но и в других смежных областях современной науки. В то же самое время, несмотря на наличие очень большого количества активно цитируемых работ в данной области, некоторые вопросы все еще остаются нерешенными. Настоящая диссертационная работа направлена на разработку новых универсальных методов анализа перемежаемости вблизи границы обобщенной синхронизации, работающих одинаково эффективно как в системах с простой, так и сложной топологией аттрактора и с однонаправленной, и с взаимной связью, в том числе с учетом мультистабильности, и выявление при помощи этих методов новых явлений и закономерностей в исследуемых системах. Эти методы основаны на непрерывном вейвлетном преобразовании и численном расчете локальных показателей Ляпунова. Они имеют большой потенциал практического применения и в перспективе могут быть использованы для решения широкого круга прикладных задач. Например, метод, основанный на расчете локальных показателей Ляпунова, может найти применение при разработке систем для скрытой передачи информации на основе обобщенной синхронизации в системах с однонаправленной и взаимной связью, а метод на базе непрерывного вейвлетного преобразования может быть успешно применен для повышения устойчивости выделения характерных фаз поведения по временным рядам

различной, в том числе радиофизической и нейрофизиологической, природы к аддитивному шуму. Вышесказанное свидетельствует об актуальности и практической значимости темы диссертационного исследования Евстифеева Е.В.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Она имеет логично организованную структуру и характеризуется четким и ясным изложением материала.

Во **введении** обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулирована цель диссертационной работы, описаны научная новизна, личный вклад, научная и практическая значимость полученных результатов. Введение содержит основные положения и результаты, выносимые на защиту, информацию о структуре и объеме работы, сведения о достоверности полученных результатов, их апробации и публикациях.

Логика изложения материала в каждой главе подчиняется одному и тому же принципу. В начале каждой главы приводится ее краткое содержание, а затем более подробно описываются известные результаты в данной области исследования и новые оригинальные результаты, полученные соискателем.

Так, в **первой главе** описаны результаты применения классического метода вспомогательной системы для определения характеристик перемежающейся обобщенной синхронизации в однонаправленно связанных системах с различной топологией аттрактора. В качестве объектов исследования выбраны системы Ресслера (с простой топологией аттрактора) и системы Лоренца (со сложной топологией аттрактора). Показано, что характеристики перемежаемости (распределения длительностей ламинарных фаз при фиксированных значениях управляющих параметров, зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности) подчиняются различным законам, зависящим от структуры аттракторов взаимодействующих систем: на границе обобщенной синхронизации для систем с относительно простой топологией наблюдается перемежаемость типа on-off, а для систем со сложной топологией – перемежаемость перескоков, что находится в хорошем соответствии с известными ранее результатами. Впервые установлено, что применение непрерывного вейвлетного преобразования для анализа перемежающейся обобщенной синхронизации позволяет повысить точность определения характеристик перемежаемости, в том числе, в присутствии шума.

Во **второй главе** предложен универсальный метод определения характеристик перемежаемости на границе обобщенной синхронизации, основанный на оценке локальных показателей Ляпунова. Апробация метода проведена на системах с различной топологией аттрактора с однонаправленной связью, рассмотренных в главе 1: результаты предложенного метода сопоставлены с результатами метода вспомогательной системы, получено хорошее соответствие между ними. Метод применен к тем же системам с взаимным типом связи. Впервые установлено, что на границе обобщенной синхронизации в данном случае реализуются те же типы перемежаемости, что и при однонаправленной связи (перемежаемость типа on-off в системах с простой топологией, перемежаемость перескоков в системах со сложной топологией), что свидетельствует о независимости типа перемежаемости от типа связи между системами. В данной главе также рассмотрен

вопрос о влиянии шума на характеристики перемежаемости. Показано, что для однонаправленно и взаимно связанных систем Лоренца (со сложной топологией аттрактора) при относительно небольшой интенсивности шума характеристики перемежаемости хорошо аппроксимируются экспоненциальными закономерностями, характерными для перемежаемости перескоков.

Третья глава направлена на изучение возможности существования мультистабильности вблизи границы обобщенной синхронизации в тех же однонаправленно и взаимно связанных потоковых системах с различной топологией аттрактора и дискретных отображениях. Для доказательства наличия данного явления для всех систем построены бассейны притяжения синхронных и асинхронных состояний в различные моменты времени и введена в рассмотрение мера мультистабильности. С этой целью использованы подходы, основанные как на модификации метода вспомогательной системы, так и расчете локальных показателей Ляпунова. Для однонаправленно связанных систем оба подхода дали примерно одинаковые положительные результаты. Установлено также, что предложенный подход может использоваться для более точного определения характеристик обобщенной синхронизации с учетом мультистабильности.

Основные результаты работы и выводы компактно сформулированы в **заключении**. Анализируя их, можно выделить следующие наиболее интересные моменты:

- разработан и апробирован универсальный метод определения характеристик перемежаемости вблизи границы обобщенной синхронизации, справедливый для систем с различными типами связи и различной топологией аттракторов;
- при помощи разработанного метода впервые установлено, что тип перемежаемости вблизи границы обобщенной синхронизации не зависит от типа связи между системами, а определяется топологиями аттракторов взаимодействующих систем;
- установлено наличие мультистабильности вблизи границы обобщенной синхронизации в однонаправленно и взаимно связанных системах с различной топологией аттракторов.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на использовании известных, хорошо изученных моделей, апробированных численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений, соответствии результатов, полученных при помощи различных методов и подходов, а также отсутствием противоречий с известными в литературе данными.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При описании результатов первой и второй глав в части определения показателей степенных и экспоненциальных функций, аппроксимирующих численно полученные характеристики перемежаемости, представленных в таблицах 1.1, 1.2, 2.1-2.4, автор не уделяет должного внимания описанию точности оцененных коэффициентов. Было бы полезно привести средний результат и погрешность.
2. В разделе 2.4 диссертационной работы рассматривается влияние шума на определение характеристик перемежаемости в однонаправленно и взаимно связанных системах Лоренца. При этом, интенсивность шума выражается автором в абсолютных единицах, в то время как в рамках раздела 1.4 автор вводит понятие

отношения амплитуды шума к амплитуде входного сигнала. Было бы удобно ввести аналогичную характеристику в рамках этой главы, чтобы показать степень устойчивости обобщенной синхронизации по отношению к шуму.

3. Предложенные в диссертационной работе методы и подходы апробированы на модельных системах с непрерывным и дискретным временем. Было бы интересным проверить их работоспособность также при обработке экспериментальных временных рядов различной природы.

Отмеченные недостатки не снижают общей оценки диссертационной работы Е.В. Евстифеева, которая выполнена на высоком уровне.

Заключение.

Диссертационная работа Е.В. Евстифеева является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную для радиофизики тему. Диссертация соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика.

По результатам диссертационной работы опубликовано 10 статей в центральных рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в Белый список и/или индексируемых международными базами данных (Web of Science, Scopus) и RSCI, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science Science» (WOS, Scopus, Q1, УБС1) (2 статьи), «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика» (WOS, Scopus, УБС2), «Письма в Журнал Технической Физики» (WOS, Scopus, УБС2) (2 статьи), «Известия РАН. Серия физическая» (Scopus, УБС3) (3 статьи) и др. Работа прошла хорошую апробацию на 15 всероссийских и международных научных конференциях, материалы исследования поддержаны 4 грантами Минобрнауки и РФФИ. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН (г. Москва), Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики», Воронежском государственном университете, Казанском (Приволжском) федеральном университете, Южном федеральном университете, Санкт-Петербургском государственном университете, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Национальном исследовательском Томском государственном университете, Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики, Иркутском государственном университете, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в высших учебных заведениях Российской Федерации, ведущих подготовку специалистов (бакалавров, магистров, аспирантов) в области радиофизики.

С учетом вышесказанного можно полагать, что диссертационная работа Евгения Валентиновича Евстифеева вносит значительный вклад в развитие методов исследований нелинейной динамики в части эффектов вблизи границы обобщенной хаотической синхронизации и ее приложений как одного из разделов современной радиофизики и удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам Евгений Валентинович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Отзыв составлен и утвержден на заседании кафедры теории управления и динамики систем института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского (протокол № 2 от 20 ноября 2025 года).

Отзыв составил:

Осипов Григорий Владимирович
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой теории управления и динамики систем

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23

Телефон: +7(831) 462-33-57, e-mail: grosipov@gmail.com

Подпись

Осипов
1 декабря 2025 г.



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
Начальник управления кадров
ННГУ им. Н.И. Лобачевского

[Signature]
Т.А. Лапоног