



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»
(БФУ им. И. Канта)

ул. А. Невского, 14, г. Калининград, 236016
тел.: (4012) 595-597, факс: (4012) 465-813
e-mail: post@kantiana.ru
http://www.kantiana.ru

ОКПО 02068255, ОГРН 1023901002949
ИНН 3906019856, КПП 390601001

06.04.2023 № 6/И

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный
университет имени Иммануила Канта»
кандидат физико-математических наук
Демин Максим Викторович



«06» апреля 2023 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на письмо №3/1527 от 14.03.2023

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени
Иммануила Канта»

на диссертационную работу Ханадеева Владислава Андреевича
на тему «Исследование особенностей обобщенной синхронизации в системах со
сложной топологией аттрактора», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Ханадеева Владислава Андреевича направлена на решение актуальной задачи радиофизики, связанной с изучением особенностей одного из наиболее интересных и наименее изученных типов синхронного поведения однонаправленно и взаимно связанных систем – режима обобщенной хаотической синхронизации – в системах с так называемой сложной топологией аттрактора, под которой автор понимает двулистную структуру аттрактора. Такой структурой обладают, например, системы Лоренца, радиотехнические генераторы Чуа, системы Чена. В диссертационной работе в качестве объектов исследования выбраны однонаправленно и взаимно связанные системы Лоренца и осцилляторы Чена, обладающие разной (3 и 4, соответственно) размерностью фазового пространства, а, следовательно,

характеризующиеся своими особенностями, обусловленными не только структурой аттрактора, но и различной размерностью фазового пространства. Важно отметить, что несмотря на активное изучение режима обобщенной синхронизации в различных классах динамических систем и наличие большого количества высокоцитируемых статей в данной области, вопрос о влиянии топологии аттрактора на особенности установления этого режима в литературе, как правило, не рассматривался. В то же самое время, именно системы со сложной топологией аттрактора могут использоваться в качестве генераторов передающего и принимающего устройств в схемах скрытой передачи информации на основе режима обобщенной синхронизации, позволяя тем самым повысить конфиденциальность известных способов скрытой передачи информации, что имеет важное значение для практики. В рамках настоящей диссертационной работы впервые выявлены особенности и разработаны новые методы анализа режима обобщенной синхронизации в таких системах. Эти методы имеют большой потенциал практического применения и в перспективе могут быть использованы для решения широкого круга прикладных задач. В частности, метод фазовых трубок, адаптированный на системы со сложной топологией аттрактора, и предложенный метод перескоков для анализа перемежаемости, имеющей место вблизи границы обобщенной синхронизации в таких системах, смогут найти практическое применение при обработке экспериментальных данных, в том числе радиофизической и нейрофизиологической природы. Вышесказанное свидетельствует об актуальности и практической значимости темы диссертационного исследования Ханадеева В.А.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, используемой при подготовке диссертационного исследования. Она имеет логично организованную структуру и характеризуется четким и ясным изложением материала.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, сформулирована цель работы, описаны научная новизна, научная и практическая значимость полученных результатов. Введение содержит основные положения и результаты, выносимые на защиту, информацию о структуре и объеме работы

и личном вкладе диссертанта, а также сведения о достоверности полученных результатов, их апробации и публикациях.

Логика изложения материала в содержательных главах диссертации подчиняется одному и тому же принципу. В начале главы приводятся краткие теоретические сведения, резюмирующие известные результаты в данной области, а затем излагаются оригинальные результаты, полученные соискателем.

Так, в **первой главе** описаны результаты исследования возможности применения известных методов и подходов для диагностики режима обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора. Установлено, что независимо от типа связи между системами (однаправленного или взаимного) диагностику режима обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора можно осуществлять при помощи расчета спектра показателей Ляпунова, метод вспомогательной системы оказывается работоспособным только в случае однонаправленной связи между системами, а метод ближайших соседей для обоих типов связи приводит к некорректным результатам. Вместо метода ближайших соседей диссертантом предложено использовать его модификацию – метод фазовых трубок, принципиальным отличием которого от метода ближайших соседей является учет предыстории состояний взаимодействующих систем. Показана эффективность метода фазовых трубок в случае обоих типов связи между системами, а также хорошее соответствие полученных при помощи него результатов и результатов расчета спектра показателей Ляпунова.

Во **второй главе** рассмотрено перемежающееся поведение вблизи границы обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора, связанных однонаправленно и взаимно. Впервые показано, что на границе обобщенной синхронизации в данном случае имеет место принципиально новый тип перемежаемости, названный автором перемежаемостью перескоков. Выявлены механизмы возникновения перемежаемости в данном случае. Показано, что разрушение синхронного режима обусловлено переключением системы между состояниями, соответствующими различным листам аттрактора, что позволяет разработать метод выделения характерных фаз поведения систем, основанный на анализе расположения изображающих то-

чек на аттракторе, названный также методом перескоков. При помощи разработанного метода и метода вспомогательной системы (для однонаправленной связи) получены характеристики перемежаемости, установлено как теоретически, так и численно, что и распределения длительностей синхронных фаз, и зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра связи подчиняются экспоненциальным законам. Данный закон не зависит от типа связи между системами и, по всей видимости, является универсальным.

В **третьей** главе изучен вопрос о влиянии шума на установление обобщенной синхронизации в однонаправленно и взаимно связанных системах со сложной топологией аттрактора. Показано, что по аналогии с системами с относительно простой топологией, режим обобщенной синхронизации оказывается устойчивым по отношению к шумам в широком, но ограниченном диапазоне изменения интенсивности шумового воздействия, сопоставимым с амплитудой собственных колебаний взаимодействующих систем, причем степень устойчивости режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам в системах с однонаправленным типом связи оказывается немного выше. Установлено, что характеристики шумового сигнала не оказывают существенного влияния на порог возникновения режима обобщенной синхронизации в исследуемых системах. Такое поведение границы обобщенной синхронизации в присутствии шума объяснено в диссертации слабым влиянием шума на аттракторы взаимодействующих систем.

Основные результаты и выводы диссертационной работы четко сформулированы в **заключении**. Анализируя их, можно выделить следующие наиболее интересные и важные результаты:

- установлена возможность использования метода фазовых трубок для диагностики режима обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора, при этом показано, что классический метод ближайших соседей для таких систем оказывается неработоспособным;

- предложен метод перескоков для выделения характерных фаз поведения систем в системах со сложной топологией аттрактора, связанных однонаправленно и взаимно, показана его работоспособность в системах с различным типом связи;

- обнаружен новый тип перемежаемости вблизи границы обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора;

- выявлена устойчивость режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам в системах со сложной топологией аттрактора.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на применении хорошо известных и общепринятых моделей, использовании строгих математических методов и подходов, апробированных численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений, согласованности результатов, полученных при помощи различных методов и подходов, а также отсутствием противоречий с уже существующими результатами, известными в научной литературе.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Апробация новых методов и подходов, разработанных в рамках диссертационной работы, осуществлялась при помощи численного моделирования. Было бы интересно также проверить работоспособность этих методов, например, в радиотехническом эксперименте или при обработке реальных временных рядов нейрофизиологической природы.

2. Аналогичное замечание касается и обнаруженного нового типа перемежаемости в системах со сложной топологией аттрактора. Было бы интересным рассмотреть возможность его наблюдения в эксперименте.

3. При описании результатов третьей главы соискатель уделяет большое внимание влиянию шума на сам режим обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора. При этом влияние шума на характеристики перемежаемости, имеющей место вблизи границы этого режима, в диссертации не рассматривается. Обсуждение этого вопроса сделало бы третью главу более полной и органично вписалось бы в общий контекст диссертационной работы, объединяя все главы воедино.

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

Заключение

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

По результатам диссертационной работы опубликовано 7 статей в центральных рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах, 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: «Physical Review E» (WOS, Scopus, Q1), «Письма в Журнал технической физики» (WOS, Scopus), «Журнал технической физики» (WOS, Scopus), «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика» (WOS, Scopus), «Известия РАН. Серия физическая» (Scopus), «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика» (Scopus) и др. Работа прошла хорошую апробацию на 13 всероссийских и международных научных конференциях и семинарах, материалы исследования поддержаны 4 грантами Минобрнауки и РФФИ. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН (г. Москва), Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Балтийском федеральном университете им. И. Канта, 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, Университете Иннополис, 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 Владислава Андреевича Ханадеева вносит значительный вклад в развитие методов исследований нелинейной динамики в части 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, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам Владислав Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Отзыв составили:

Куркин Семен Андреевич



ведущий научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, доктор физико-математических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,
Почтовый адрес: 236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14
Тел. +79270557770, e-mail: kurkinsa@gmail.com

Андреев Андрей Викторович



старший научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, кандидат физико-математических наук
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,
Почтовый адрес: 236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14
Тел. +79873609232, e-mail: andreevandreii1993@gmail.com

Отзыв составлен и утвержден на семинаре Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта» (протокол № 3 от 31 марта 2023 года).

Подписи Куркина С.А. и Андреева А.В. удостоверяю.
Ответственный секретарь Ученого Совета
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный
Университет имени Иммануила Канта»



Шпилевой А.А.