

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ханадеева Владислава Андреевича «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

Диссертация Ханадеева Владислава Андреевича посвящена решению актуальной проблемы радиофизики, направленной на изучение фундаментальных аспектов режима обобщенной синхронизации в связанных нелинейных хаотических системах. Такое направление научных исследований представляется в настоящее время достаточно важным и перспективным, привлекающим большое внимание исследователей, работающих не только в области радиофизики, но и других смежных областях науки и техники, о чем свидетельствует наличие большого количества активно цитируемых работ в престижных отечественных и зарубежных научных журналах, посвященных как хаотической синхронизации в целом, так и ее возможным приложениям. В кандидатской диссертации Ханадеева В.А. особое внимание уделено системам с так называемой сложной топологией аттрактора, под которыми диссертант понимает системы с двулистной структурой аттрактора, как, например, у осцилляторов Лоренца и генераторов Чуа. Диссертационная работа характеризуется органичным сочетанием результатов теоретического рассмотрения и численного моделирования, полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика и, как отмечалось выше, является актуальной и своевременной.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Она содержит 100 страниц машинописного текста, включая 25 иллюстраций и 1 таблицу. Список литературы содержит 122 наименования.

Во введении к диссертации автором обоснованы актуальность и научная значимость диссертационного исследования, определены цели и задачи работы, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и публикации результатов.

Оригинальный материал диссертации изложен в трех главах. Все они посвящены разным аспектам явления обобщенной синхронизации в системах со

сложной топологией аттрактора. Важно отметить, что несмотря на то, что о существовании этого режима в однонаправленно связанных системах известно еще с работ Николая Рутькова 1995 года, активное его изучение в последние годы учеными различных стран мира и наличие достаточно большого количества публикаций по данной тематике, результаты, полученные в рамках диссертационной работы Ханадеева В.А., являются несомненно новыми и интересными, ни в коей мере не повторяющими известные из научной литературы результаты. Так, в рамках диссертационной работы автором впервые исследованы такие вопросы как методы диагностики обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора, перемежающееся поведение вблизи границы этого синхронного режима в таких системах, влияние шума на установление режима обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора. Каждому из этих вопросов посвящена отдельная глава диссертационной работы Ханадеева В.А.

Логика каждой главы диссертации построена по одному и тому же принципу: в начале главы приводится краткий обзор известных результатов по изучаемому вопросу, а затем излагается оригинальный материал, содержащий как результаты фундаментальных исследований, так и, в ряде случаев, рекомендации по их использованию на практике.

Так, первая глава посвящена, в первую очередь, изучению вопроса о возможности применения различных методов и подходов, хорошо зарекомендовавших себя для диагностики режима обобщенной синхронизации в системах с относительно простой топологией аттрактора, к системам со сложной топологией, связанным однонаправленно и взаимно. В ходе диссертационной работы установлена возможность использования метода расчета спектра показателей Ляпунова и метода фазовых трубок для детектирования данного режима в системах и с однонаправленным, и взаимным типами связи, и метода вспомогательной системы – для однонаправленно связанных систем. При этом показано, что метод ближайших соседей для систем со сложной топологией аттрактора независимо от типа связи между ними приводит к некорректным результатам. Важно отметить, что метод фазовых трубок, адаптация которого на системы со сложной топологией аттрактора проведена в диссертационной работе впервые, имеет важное практическое значение, позволяя диагностировать наличие

синхронного режима по экспериментальным временным рядам, независимо от их характера и типа связи между ними. На программное решение, реализующее данный метод, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Вторая глава диссертации является логическим продолжением первой главы и направлена на изучение перемежающегося поведения, имеющего место вблизи границы обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора. В рамках данной главы впервые показано, что тип перемежаемости, реализуемый в данном случае, не зависит от типа связи между системами (однонаправленного или взаимного), но сильно зависит от топологии аттрактора. В системах со сложной топологией автором обнаружен новый тип перемежаемости – *jump intermittency*, характеристики которого существенным образом отличаются от степенных закономерностей, имеющих место в режиме перемежаемости типа «on-off», характерной для систем с относительно простой топологией аттрактора. Для нового типа перемежаемости аналитически и численно получены экспоненциальные закономерности для распределений длительностей ламинарных фаз и зависимости средней длительности ламинарных фаз от параметра связи между системами, установлено хорошее соответствие теоретических закономерностей и численно полученных результатов. В этой главе также впервые предложен метод перескоков, позволяющий определить длительности характерных фаз поведения систем, независимо от типа связи между ними. Этот метод также может быть применен к экспериментальным временным рядам различной природы, а следовательно, может найти широкое применение на практике. На численную реализацию данного метода также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В третьей главе, плавно вытекающей из результатов двух предыдущих глав, изучен вопрос о влиянии шума на границу обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора. Изучение данного вопроса также важно для практики, т.к. функционирование реальных систем без наличия помех и флуктуаций вовсе неизбежно. Автором установлена устойчивость режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам в однонаправленно и взаимно связанных системах со сложной топологией аттрактора и даны рекомендации по использованию этого режима в схемах скрытой передачи информации, основанных

на явлении обобщенной синхронизации, с целью повышения конфиденциальности передачи данных таким способом. Показано, что характеристики шумового сигнала оказывают слабое влияние на пороговое значение установления синхронного режима, при этом, тип связи между системами, однонаправленный или взаимный, напротив, является существенным. Степень устойчивости режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам в системах с взаимным типом связи оказывается несколько ниже, что обусловлено опосредованным воздействием шума на поведение обеих взаимодействующих систем, даже в том случае, когда непосредственное воздействие шумового сигнала осуществляется только на одну из них.

В заключении подведены итоги диссертационной работы, сформулированы основные результаты и выводы.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов, приведенных в диссертации В.А. Ханадеева и прошедших неплохую апробацию на представительных международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, обеспечиваются адекватностью используемых математических моделей, строгостью применяемых методов нелинейной динамики, согласованностью представленных теоретических выводов, качественных интерпретаций и результатов численного моделирования, качественным (а в ряде случаев и количественным) совпадением полученных результатов с отдельными результатами исследований, известными из литературы. Основное содержание диссертации опубликовано в научной печати в 19 работах, включая 7 статей в высокорейтинговых научных журналах, входящих в международные системы научного цитирования Web of Science/Scopus, рекомендованных ВАК России для опубликования основных научных результатов кандидатских и докторских диссертаций (таких как, например, Physical Review E, Письма в ЖТФ, ЖТФ, Известия РАН. Серия физическая, Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика и др.), 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 10 статей и тезисов докладов в сборниках трудов научных конференций. Автореферат содержит всю необходимую информацию и адекватно отражает содержание диссертации.

Новизна исследований В.А. Ханадеева четко прослеживается в каждой главе диссертации. Здесь еще раз хочется отметить серию научных результатов по изучению фундаментальных аспектов обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора (новый тип перемежаемости вблизи границы этого режима, устойчивость синхронного режима по отношению к шумам), а также разработанные методы анализа данного режима в системах с различным типом связи (метод фазовых трубок, метод перескоков), имеющие, как отмечалось выше, важное прикладное значение. Полученные в диссертации результаты могут быть востребованы в высокотехнологичных отраслях экономики, например, при разработке информационно-телекоммуникационных систем или при исследовании процессов синхронизации объектов биофизики и биомедицины.

Основные положения, высказанные автором по результатам проведенных исследований, не вызывают существенных нареканий. По самому содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. В рамках третьей главы диссертационной работы рассматривается влияние шума на установление синхронного режима. При этом, интенсивность шума выражается автором в абсолютных единицах. Хотя автор и утверждает, что интенсивность шума оказывается сопоставимой с интенсивностью сигнала с ведущей системы, было бы полезно использовать также такие обозначения как отношение сигнал/шум для характеристики степени устойчивости обобщенной синхронизации по отношению к шумам.
2. Практически на протяжении всей диссертационной работы четко прослеживается заданная автором логика «от простого к сложному». В то же самое время, первая глава несколько выбивается из этого контекста: сначала рассматривается установление обобщенной синхронизации во взаимно связанных четырехмерных системах Чена, и только потом автор переходит к рассмотрению однонаправленно связанных трехмерных осцилляторов Лоренца. Было бы логично, если бы очередность рассмотрения этих систем была противоположной.
3. Теория перемежаемости перескоков, имеющей место вблизи границы обобщенной синхронизации в системах со сложной топологией аттрактора, описана недостаточно подробно. Было бы интересным посмотреть также на

уточненные закономерности, которые упоминает автор во второй главе диссертационной работы.

Указанные недостатки не касаются основных идей и результатов автора, приведенных в диссертации, и не снижают положительного впечатления о работе. Диссертация В.А. Ханадеева представляет собой выполненную на высоком уровне законченную научно-исследовательскую работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для радиофизики, связанной с исследованием особенностей обобщенной синхронизации и перемежаемости вблизи ее границы в системах со сложной топологией аттрактора. Считаю, что диссертационная работа Ханадеева Владислава Андреевича удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук (01.04.03), доцент, заведующий кафедрой теории управления и динамики систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород

Осипов Григорий Владимирович

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, телефон: +7(831) 462-33-20, e-mail: osipov@vmk.unn.ru

Согласен на обработку персональных данных.

«28» апреля 2023 г.

Подпись Осипова Г.В. заверяю
ученый секретарь ученого совета
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Черноморская Л.Ю.