

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Журавлева Максима Олеговича

«Перемежающееся поведение хаотических осцилляторов вблизи границ  
синхронных режимов»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертационная работа Журавлева М.О. посвящена изучению перемежающегося поведения в нелинейных динамических системах, которое можно наблюдать вблизи границы синхронизации. Интерес к исследованию перемежаемости в первую очередь вызван фундаментальностью данного типа поведения, это широко распространенный феномен нелинейной динамики, его могут демонстрировать системы различной природы – физические, биологические. С другой стороны, изучение данного поведения вблизи границ синхронных режимов вызывает особый интерес в связи с тем, что развиваемый в последнее время подход, основанный на представлении о синхронизации временных масштабов, позволяет рассматривать с единых позиций все известные на сегодняшний день типы синхронного поведения хаотических осцилляторов. Это открывает возможность посмотреть с новой точки зрения на режимы, возникающие на границах зон синхронизации. В этой связи актуальность диссертационной работы М.О.Журавлева не вызывает сомнений. Содержание работы соответствует паспорту специальности 01.04.03 – радиофизика, поскольку касается исследований нелинейной динамики, созданию новых методов анализа и статистической обработки сигналов, генерируемых системами различной природы.

В работе представлен и исследован ряд примеров систем, демонстрирующих перемежаемость, связанную с синхронизацией временных масштабов. Концепция синхронизации временных масштабов основана на введении в рассмотрение непрерывного множества фаз сопоставляемых разным временным масштабам, которое получается в результате применения непрерывного вейвлетного преобразования к сигналам связанных хаотических систем. При этом параметром, по которому происходит переход от синхронного к асинхронному поведению выступает сам временной масштаб.

Этот подход позволяет автору ввести в рассмотрение новые явления и устанавливать их закономерности.

В первой главе автор рассматривает перемежающееся поведение, которое реализуется при переходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике поведения в нелинейных динамических системах на примере системы однонаправлено связанных осцилляторов Ресслера. Основным результатом данной главы является демонстрация того, что вблизи границы синхронных временных масштабов наблюдается перемежаемость типа кольца вне зависимости от значения расстройки собственных частот связанных осцилляторов в исследуемой нелинейной динамической системе. Стоит отметить, что все приведенные в первой главе диссертационной работы статистические характеристики перемежающегося поведения были получены с помощью разработанного автором метода выделения длительности ламинарных и турбулентных фаз поведения.

Во второй главе диссертационной работы разработан теоретический подход, который позволяет описать поведение нелинейной динамической системы, в которой одновременно существует два различных типа перемежаемости. Важным результатом, полученным здесь автором является вывод соотношений для статистических характеристик результирующего перемежающегося поведения на основе известных статистических свойств сосуществующих типов перемежаемости.

Третья глава диссертационной работы посвящена демонстрации применения предложенного во второй главе подхода к описанию одновременного существования двух различных типов перемежающегося поведения. Эталонными нелинейными системами с потоковым временем здесь выступают система однонаправлено связанных осцилляторов Ресслера и неавтономный генератор Ван дер Поля с шумом. Приведены результаты численного моделирования которые сопоставлены с теоретическими зависимостями, показано их хорошее соответствие друг другу. Для определения статистических характеристик поведения нелинейных динамических систем, в которых одновременно реализуются два типа перемежаемости автором был разработан модифицированный метод определения длительности ламинарных и турбулентных фаз. Отличительной особенностью модифицированного метода, предложенного в рамках данной главы, от метода, описанного в первой главе, является то, что он позволяет соотносить каждый участок турбулентного поведения с конкретным типом

перемежаемости, который в данный момент реализуется в исследуемой системе. Важно также отметить, что продемонстрирована возможность одновременного существования двух типов перемежаемости в реальных живых системах, на примере взаимодействия кардиоваскулярной и респираторной систем человека.

В своей работе автор корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Для анализа феномена сосуществования двух типов перемежаемости автор создает теоретическую модель, позволяющую выявить статистические закономерности этого явления, грамотно используя при этом аппарат теории вероятности и математической статистики. Выводы сделанные на основе этой модели проверяются в численном эксперименте. Автором изучены и критически анализируются известные достижения и теоретические положения других авторов по вопросам связанным с исследованием перемежающегося поведения.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием в расчетах известных, апробированных численных методов, современных средств и методик проведения исследований, соответствием теоретического описания результатам численного моделирования, отсутствием противоречий с известными в настоящее время результатами российских и зарубежных исследователей.

В ходе выполнения диссертационной работы автор решил ряд логически связанных задач, сложность которых свидетельствует о его квалификации, и получил новые и интересные результаты. Таковым является анализ статистических свойств перемежаемости связанной с синхронизацией временных масштабов, проведенный им впервые. В диссертационной работе предположена возможность и предложено теоретическое описание одновременного существования двух типов перемежающегося поведения в нелинейных динамических системах, правильность которого была проверена на модельных системах, что в свою очередь потребовало разработки новых методов и подходов. Диссертация Журавлева М.О. обладает несомненной новизной и содержит решение задач, имеющих существенное значение для радиофизики и нелинейной динамики.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. Недостаточно прояснена разница между ситуациями “охвата” траекторией начала координат и “вращения” вокруг него, не представлены конкретные алгоритмы, позволяющие отличить один случай от другого. Например, не

совсем ясно, почему поведение траектории на Рис. 3.9г (стр.110) трактуется как “вращение” (поскольку соотнесено в тексте с перемежаемостью типа “игольного ушка”), а, казалось бы, аналогичная по виду картинка на Рис.1.12б (стр.60) трактуется как “охват” и относится к перемежаемости типа “кольцо”.

2. Предлагаемый метод выделения ламинарной и турбулентной фаз перемежаемости основан, в частности, на подборе двух пороговых значений, однако в диссертации отсутствует анализ влияния, которое окажет на точность получаемых результатов погрешность в выборе этих порогов.
3. Из диссертационной работы неясно, насколько общим является этот метод, каковы границы его применимости
4. Возможность сосуществования двух типов перемежаемости в живых системах продемонстрирована только на качественном уровне, статистических характеристик перемежаемости подтверждающих такой вывод не приводится.

В заключение следует отметить, что в целом диссертационная работа производит хорошее впечатление, написана ясным, четким языком, является полным и законченным научным исследованием. Отмеченные недостатки работы не носят принципиального характера и не снижают ценности проведенных исследований.

Проведенные в работе исследования являются важными, обладают необходимой общностью, и представляют интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения, так как теоретическая модель, способная описать поведение нелинейной динамической системы, в которой сосуществуют два типа перемежаемости, разработанная в рамках диссертационной работы, может быть использована для описания реальных нелинейных систем. Новый метод выделения ламинарных и турбулентных фаз в поведении систем описанный в работе, может в дальнейшем иметь практическое применение, так как имеет ряд преимуществ по сравнению с предшественниками. Результаты работы также возможно использовать в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по радиофизике, нелинейной динамике и смежным дисциплинам.

Результаты диссертации достаточно полно представлены публикациями в отечественных и зарубежных научных журналах, рекомендованных ВАК (9 публикаций), а так же в докладах международных и российских научных конференций (10 тезисов в сборниках материалов). Можно также отметить

использование результатов диссертационной работы при выполнении работ, поддержанных различными научно-исследовательскими грантами, что свидетельствует об их высоком качестве.

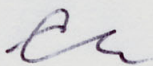
Личный вклад адекватно отражен соответствующими формулировками в диссертации и автореферате. Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.

Можно заключить, что диссертация Журавлева Максима Олеговича удовлетворяет требованиям п. 9, а также пп. 10-14 "Положения о присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Журавлев М.О. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиоп физика.

#### **Официальный оппонент**

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН



Сатаев Игорь Рустамович

ФГБУН "Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН",  
Саратовский филиал

Почтовый адрес: 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, 38;

Телефон: +78452278685;

Электронный адрес: sataevir@rambler.ru;

Подпись Сатаева И.Р. заверяю

Зам. директора Саратовского филиала Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, д.ф.-м.н.



Селезнев Евгений Петрович