

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института  
прикладной физики РАН  
академик РАН



Литвак А. Г.

«29» сентября 2014 г.

### О Т З Ы В

ведущей организации – Институт прикладной физики Российской академии наук на диссертацию Журавлева Максима Олеговича «Перемежающееся поведение хаотических осцилляторов вблизи границ синхронных режимов», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертационная работа Журавлева Максима Олеговича посвящена исследованию перемежающегося поведения, возникающего на границе синхронизации временных масштабов, и определению общих закономерностей для нелинейных систем, в которых одновременно существует два типа перемежаемости. Явлению перемежающегося поведения в последнее время уделяется все больше внимания как отечественными, так и зарубежными специалистами в различных областях науки. Такой интерес со стороны исследователей к этим задачам в первую очередь связан с тем, что перемежающееся поведение характерно для большого количества процессов, протекающих в системах различной природы. Тем не менее, до сих пор остается открытым ряд вопросов, связанных с данным явлением. Одним из таких вопросов является изучение перемежающегося поведения, которое возникает при переходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике в нелинейных системах. Отметим, что исследование данного вопроса вызывает особенно важно, так как синхронизация временных масштабов позволяет рассматривать с единой позиции все остальные типы хаотической синхронизации. Результаты, полученные в диссертационной работе М.О. Журавлева являются актуальными и важными для формирования целостной картины динамики взаимодействующих нелинейных систем. Кроме того, в работе предложена новая теоретическая модель, позволяющая описывать поведение нелинейной системы, в которой одновременно сосуществуют два типа перемежаемости. В качестве объектов исследования в диссертационной работе выбраны эталонные модели теории динамических систем, что позволяет распространить полученные результаты на системы самой различной природы и, в последующем, использовать их для решения широкого круга прикладных задач. Исходя из выше сказанного, тема диссертационной работы М.О. Журавлева, несомненно, представляется актуальной и практически значимой.

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 темы проведенных исследований, сформулирована цель работы, описаны научная новизна и практическая значимость

полученных результатов. Введение содержит также основные положения и результаты, выносимые на защиту, и сведения об апробации результатов и публикациях.

В первой главе диссертационной работы изложены результаты, посвященные изучению перемежающегося поведения, наблюдаемого в нелинейных системах с малой и большой расстройкой управляющих параметров при переходе от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике. В рамках этого изложения диссертантом был предложен новый метод выделения ламинарных и турбулентных фаз во временных реализациях взаимодействующих осцилляторов, находящихся вблизи границы режима фазовой хаотической синхронизации. При помощи этого метода были получены статистические характеристики перемежающегося поведения, как для случаев малой и большой расстройки управляющих параметров. На основе полученных данных показано, что в обоих случаях переход от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике осуществляется через перемежаемость кольца.

Во второй главе диссертационной работы М.О. Журавлева разработана теория, описывающая статистические характеристики (распределение длительностей ламинарных участков поведения при фиксированных управляющих параметрах и зависимость средней длительности ламинарной фазы от значений параметра надкритичности) динамики нелинейных систем, в которых одновременно реализуются два различных типа перемежающегося поведения. Развита теория была применена для исследования системы с дискретным временем, которая при определенных значениях управляющих параметров демонстрирует одновременное сосуществование двух различных типов перемежающегося поведения. Было показано, что предложенная теория корректно описывает поведение системы, которое характеризуется одновременным сосуществованием двух различных типов перемежаемостей.

Третья глава посвящена рассмотрению нелинейных потоковых систем, в которых одновременно реализуются два различных типа перемежающегося поведения. В начале главы диссертантом был предложен модифицированный метод выделения ламинарных и турбулентных фаз для нелинейных систем, в которых одновременно сосуществуют два различных типа перемежающегося поведения. Отличительной особенностью метода является то, что он позволяет сопоставить каждый участок асинхронного поведения с конкретным типом перемежаемости, который в данный момент реализуется в системе. Далее, с использованием предложенного модифицированного метода им было проведено изучение нелинейных потоковых систем, способных одновременно демонстрировать два различных типа перемежаемости: системы однонаправлено связанных осцилляторов Ресслера и неавтономного генератора Ван-дер-Поля с шумом. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что предложенный во второй главе диссертационной работы теоретический подход к описанию сосуществования двух типов перемежающегося поведения корректно описывает динамику систем и с потоковым временем. Также, в рамках третьей главы продемонстрирована возможность сосуществования двух типов перемежающегося поведения в реальных физиологических системах.

Основные результаты работы и выводы сформулированы в заключении диссертационной работы. Среди них можно выделить следующие наиболее интересные моменты:

1. Переход от синхронизации временных масштабов к асинхронной динамике для хаотических осцилляторов при малой и большой расстройке управляющих параметров осуществляется через перемежаемость кольца.
2. Предложенная в диссертационной работе теоретическая модель позволяет получить статистические характеристики, описывающие поведение

нелинейной системы, в которой одновременно сосуществуют два различных типа перемежаемости.

3. Обнаружение сосуществования двух типов перемежающегося поведения в физиологических системах.

Важно также отметить, что в диссертации проведена апробация предложенной теоретической модели одновременного сосуществования двух типов перемежаемости, при этом численно полученные зависимости хорошо соотносятся с теоретическими закономерностями.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на соответствии аналитических и численных результатов, использовании апробированных численных методов решений алгебраических и дифференциальных уравнений, а также отсутствием противоречий с известными в литературе данными.

#### **По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В диссертационной работе присутствуют не совсем удачные формулировки. В частности, в первой главе диссертационной работы автор приводит основные статистические характеристики для перемежаемостей различного типа. При этом для перемежаемости II не записан закон, которому подчиняется зависимость средней длительности ламинарных фаз, а говорится о том, что «статистические характеристики перемежаемости типов II и III являются практически одинаковыми». На мой взгляд, в диссертационной работе следует избегать таких неудачных формулировок.
2. Предложенная в разделе 2.2 теоретическая модель, описывающая одновременное существование двух типов перемежаемости, основана на том, что механизмы приводящие к возникновению турбулентной фазы того или иного типов перемежаемости оказываются независимыми друг от друга. По всей видимости, такая ситуация может быть не всегда справедливой, и этот вопрос следовало бы проработать более детально.
3. В первой и третьей главах диссертационной работы рассматриваются методы, позволяющие выделять ламинарные и турбулентные фазы в динамике изучаемых систем, при этом метод, описанный в третьей главе, базируется на методе, детально описанном в главе 1. Было бы более логичным провести описание всех методов в одном месте диссертационной работы, что придало бы ей большую стройность и логичность в изложении материала.

В то же время, отмеченные недостатки не снижают общей оценки диссертационной работы М.О. Журавлева, которая выполнена на высоком уровне.

#### **Заключение.**

Диссертационная работа М.О. Журавлева является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную для радиофизики и нелинейной динамики тему. Диссертация соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика.

По результатам диссертационной работы опубликовано 9 статей в центральных реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика», «Известия РАН. Серия физическая», «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского», «Physical Review E», «CHAOS: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear

Science». Работа прошла хорошую апробацию на многочисленных отечественных и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте прикладной физики РАН, Институте радиотехники и электроники РАН, Московском, Нижегородском, Воронежском, Томском, Ростовском университетах, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Московском физико-техническом институте, Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Воронежском государственном университете, Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А., Московском институте электроники и математики, Томском государственном университете и других вузах, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Максима Олеговича Журавлева вносит существенный вклад в развитие современной радиофизики и нелинейной теории колебаний и удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Отзыв составил

Зав. отд. ИПФ РАН  
профессор, д.ф.-м.н.



Некоркин Владимир Исаакович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики  
Российской академии наук  
профессор, д.ф.-м.н., заведующий Отделом нелинейной динамики  
Почтовый адрес: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46  
e-mail: vnekorkin@neuron.appl.sci-nnov.ru  
Телефон: +7 831 4367291

Отзыв утвержден на заседании научного семинара (протокол № 6 от «23» сентября 2014 года).

Секретарь научного семинара  
к.ф.-м.н.



Захаров Денис Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики  
Российской академии наук  
к.ф.-м.н., научный сотрудник Отдела нелинейной динамики  
Почтовый адрес: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46  
e-mail: zakharov@neuron.appl.sci-nnov.ru  
Телефон: +7 831 4164783