

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по НИР Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Алексей Александрович Короновский

« 3 » _____ апреля _____ 2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Семеновы Надежды Игоревны** «Возвраты Пуанкаре в эргодических системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика», выполненной на кафедре радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена на заседании Ученого совета физического факультета ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» 29.10.2014 (протокол №2).

В 2014 г. **Семенова Надежда Игоревна** окончила ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «Радиофизика и электроника» с присвоением академической степени специалиста.

Справка об обучении в аспирантуре выдана в 2017 г. ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

В период подготовки диссертации соискатель обучается в аспирантуре ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Радиофизика».

Научный руководитель — **Анищенко Вадим Семенович**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на заседании кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского». На заседании присутствовали сотрудники кафедры:

1. *Анищенко Вадим Семенович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
2. *Вадивасова Татьяна Евгеньевна*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
3. *Павлов Алексей Николаевич*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

4. *Павлова Ольга Николаевна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
5. *Слепнев Андрей Вячеславович*, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
6. *Семенов Владимир Викторович*, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
7. *Стрелкова Галина Ивановна*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
8. *Хохлов Артур Вениаминович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
9. *Четвериков Александр Петрович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
10. *Шабунин Алексей Владимирович*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
11. *Бух Андрей Владимирович*, магистрант, инженер кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
12. *Корнеев Иван Александрович*, магистрант, инженер кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
13. *Боев Ярослав Игоревич*, кандидат физико-математических наук, заведующий учебной лабораторией радиофизики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
14. *Листов Александр Серафимович*, кандидат физико-математических наук, доцент, инженер кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
15. *Семенова Надежда Игоревна*, аспирант, инженер учебной лаборатории радиофизики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
16. *Сергеев Константин Сергеевич*, аспирант, инженер учебной лаборатории радиофизики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
17. *Шепелев Игорь Александрович*, аспирант, инженер кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Рецензент диссертации:

Вадивасова Татьяна Евгеньевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

После доклада соискателя в процессе обсуждения работы соискателю были заданы следующие вопросы:

1. Проф. Шабунин А.В.: «Вам не кажется, что вы решаете задачу чисто математическую об аппроксимации иррационального числа рациональной дробью? Время обхода связано с значениями числителей и знаменателей подходящей дроби? Мне кажется, что эта задача чисто математическая об аппроксимации иррационального числа рациональными. Эту задачу не решили еще?»

Ответ: «Аппроксимация ступенчатых функций, предложенная в диссертации, как раз основана на теории подходящих дробей, на их числителях и знаменателях. С точки зрения времен возвратов эта проблема еще не решена.»

2. Проф. Шабунин А.В.: «Математики не решили еще эту задачу? Может быть это как-то по-другому названо?»

Ответ: «Аппроксимация иррациональных чисел рациональными – это уже известный результат теории чисел. В работе рассчитывается статистика времен возврата в зависимости от числа вращения. В работе показывается, что полученная ступенчатая функция аппроксимируется исходя из известных результатов о подходящих дробях.»

3. Проф. Шабунин А.В.: «С какими физическими явлениями, приборами, технологиями связана работа?»

Ответ: «Возвраты Пуанкаре – это явление, которое имеет место в системах, устойчивых по Пуассону. Исследование фундаментальных свойств статистики времен возврата относится к теории динамических систем, которая входит в теорию колебаний и волн. То есть это – радиофизическая проблема.»

4. Проф. Вадивасова Т.Е.: «Как связана размерность Афраймовича–Песина с мерой иррациональности? То есть вы меняете эту размерность, а наклон остается равным единице?»

Ответ: «В книге Афраймовича, ссылка на которую приводилась на слайдах, приведены теоретические выкладки по поводу того, каким образом мера иррациональности связана со скоростью иррациональных приближений. В этой же книге показано, что скорость диофантовых приближений должна быть равна размерности Афраймовича–Песина. Из этих соотношений следует, что размерность Афраймовича–Песина должна быть равна мере иррациональности без единицы.»

5. Проф. Вадивасова Т.Е.: «А у вас везде получается единица независимо от числа вращения?»

Ответ: «Для алгебраических чисел мера иррациональности равна двум. Соответственно размерность Афраймовича–Песина равна единице. В случае же трансцендентных чисел точное значение меры иррациональности не известно. Известно, что эта мера больше или равна двум и меньше, чем какое-то число. Из-за того, что эти числа имеют бесконечное число знаков после запятой, у большинства трансцендентных чисел не известно точное значение меры иррациональности. Для всех рассмотренных эргодических множеств без перемешивания размерность Афраймовича–Песина была равна единице.»

6. Проф. Вадивасова Т.Е.: «А что происходит с лиувиллевыми числами?»

Ответ: «Для лиувиллевых чисел последовательность времен возврата слишком быстро возрастала. То есть в численном моделировании можно вычислить только пять точек зависимости, а по ним аппроксимацию провести невозможно. То есть для таких чисел не получилось рассчитать размерность Афраймовича–Песина.»

7. Проф. Вадивасова Т.Е.: «Можно ли на основе времен возврата оценить является ли система консервативной или диссипативной?»

Ответ: «С точки зрения самой зависимости минимального времени возврата от размера окрестности возврата никакой разницы нет. Разница заключается в следующем. В случае генератора Ван дер Поля имеется только один предельный цикл. В неавтономном консервативном осцилляторе в фазовом портрете имеется множество инвариантных кривых, и при одних и тех же параметрах, но при разных начальных условиях, на разных инвариантных кривых эти зависимости отличаются друг от друга.»

8. Проф. Вадивасова Т.Е.: «Какое множество было рассмотрено на одном из последних слайдов, и что в нем происходит с размерностью Афраймовича–Песина?»

Ответ: «Это – трехмерный тор. Для него статистика возвратов другая, ступенчатой функции нет, но размерность равна единице.»

9. Проф. Павлов А.Н.: «Один из выводов по первой главе состоит в том, что шум приводит к разрушению ступенчатой функции. Это ожидаемый результат?»

Ответ: «То же самое можно сказать по поводу влияния нелинейности. Нелинейность и шум приводят к разрушению Лестницы Фибоначчи, но делают это по-разному. Нелинейность приводит к тому, что появляются дополнительные точки между ступеньками, и при увеличении параметра нелинейности зависимость стремится к прямой линии, то есть разрушается вся структура. В случае же шумового воздействия, разрушается область малых ϵ .»

10. Проф. Павлов А.Н.: «Может быть поставить положение о влиянии шума и нелинейности на первое место?»

Ответ: «Мы подумаем над этим.»

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации Семеновой Н.И. «Возвраты Пуанкаре в эргодических системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика»

В диссертации Семеновой Н.И. решена актуальная задача радиофизики и теории колебаний, состоящая в исследовании статистики времен возврата Пуанкаре применительно к эргодическим системам без перемешивания. В качестве примеров рассматриваются отображение окружности, стробоскопическое сечение неавтономного генератора Ван дер Поля, а также странный нехаотический аттрактор. Кроме того, рассматриваются особенности статистики времен возврата Пуанкаре в одном из примеров гамильтоновых систем – неавтономном консервативном осцилляторе. Для всех рассматриваемых множеств исследуются мультифрактальные характеристики последовательности времен возврата путем расчета размерности Афраймовича–Песина.

Научная новизна диссертационной работы определяется следующим:

1. Впервые установлено, что в эргодических множествах без перемешивания зависимость среднего минимального времени возврата Пуанкаре от размера окрестности возврата является ступенчатой функцией, названной «Лестницей Фибоначчи». Количественные свойства этой функции зависят от числа вращения и подходящих к числу вращения дробей.

2. Сформулированы основные свойства «Лестницы Фибоначчи». Приведена аналитическая аппроксимация зависимости ступенчатой функции от размера области возврата для различных типов числа вращения.

3. Рассмотрено влияние типа числа вращения (диофантово или лиувиллево, алгебраическое или трансцендентное) на зависимость среднего минимального времени возврата Пуанкаре от размера области возврата, а также на возможность вычисления размерности Афраймовича–Песина.

4. Для отображения окружности показано влияние нелинейности и шума на «Лестницу Фибоначчи».

5. Рассмотрены условия получения «Лестницы Фибоначчи» для множеств, полученных в стробоскопических сечениях неавтономного генератора Ван дер Поля и неавтономного консервативного осциллятора (примера гамильтоновой системы).

6. При помощи численного моделирования подтвержден теоретически доказанный факт, что в случае эргодических множеств без перемешивания размерность Афраймовича–Песина имеет значение, равное единице.

Научная и практическая значимость. Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы обусловлена тем, что научные результаты вносят определенный новый вклад в современную теорию колебаний и теорию динамических систем, расширяют возможности применения статистики времен возврата Пуанкаре при исследовании характеристик динамических систем. В ходе исследования впервые показано, что зависимость среднего минимального времени возврата Пуанкаре от размера окрестности возврата является ступенчатой функцией, названной «Лестницей Фибоначчи». Установлено влияние числа вращения на характер этой зависимости, выведена ее аналитическая аппроксимация. Аналогичная зависимость может быть получена в стробоскопических сечениях неавтономного генератора Ван дер Поля и неавтономного консервативного осциллятора. Установлено, что для эргодических множеств размерность Афраймовича–Песина имеет значение, равное единице. Материалы диссертации частично используются в курсах лекций по теории колебаний. Предполагается дальнейшее внедрение результатов работы в учебном процессе.

Личный вклад автора. Все результаты, представленные в данной работе, были получены лично автором. Все численные эксперименты проводились при помощи программного обеспечения, разработанного автором. Также автор принимал активное участие в постановке задач и интерпретации полученных экспериментальных данных.

Достоверность научных выводов работы подтверждается соответствием результатов, полученных в численном эксперименте, с данными строгой теории, когда таковые существуют. Разработанное программное обеспечение тестировалось на ранее полученных и опубликованных результатах. Все полученные результаты численных экспериментов воспроизводимы и не зависят от конкретных схем численного анализа.

Апробация работы. Основные результаты научных исследований были представлены на следующих научных семинарах и конференциях:

1. Международная конференция, посвященная памяти Л.П. Шильникова, 1– 5 июля 2013, Нижний Новгород, N.I. Biryukova, “Statistical Characteristics of Poincaré Return Times within the Local Approach under External Force and Noise Conditions”.

2. Международная конференция “Nonlinear Dynamics of Deterministic and Stochastic systems: Unraveling Complexity”, 19–21 мая 2014, Саратов, N.I. Biryukova, V.S. Anishchenko, “Peculiarities of Poincaré recurrences in logistic and cubic maps”.

3. Международная конференция “Nonlinear Dynamics of Deterministic and Stochastic systems: Unraveling Complexity”, 19–21 мая 2014, Саратов, N.I. Biryukova, T.V. Abrosimova, V.S. Anishchenko, “Poincaré recurrences in a stroboscopic section of a nonautonomous van der Pol oscillator”.

4. Международная конференция “International Symposium Topical Problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2014)”, 17–23 июля 2014, Нижний Новгород, N.I. Semenova, T.E. Vadivasova, V.S. Anishchenko, “The Afraimovich-Pesin Dimension Of Poincaré Recurrences In A Circle Map”.

5. Международная конференция “Saratov Fall Meeting”, 23–26 сентября 2014, Саратов, N.I. Semenova, T.E. Vadivasova, V.S. Anishchenko, “Poincaré recurrences in a circle map. Fibonacci stairs”.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ, включая 7 статей в российских и международных журналах, входящих в список изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций:

1. Local and global approaches to the problem of Poincaré recurrences. Applications in nonlinear dynamics / V. S. Anishchenko, Ya. I. Boev, N.I. Semenova, G.I. Strelkova // *Phys. Rep.* — 2015. — Vol. 587. — Pp. 1–39.

2. Anishchenko, V.S. Poincaré Recurrences in the Circle Map: Fibonacci stairs. / V.S. Anishchenko, N.I. Semenova, T.E. Vadivasova // *Discontinuity, Nonlinearity and Complexity.* — 2015. — Vol. 4, no. 2. — Pp. 111–119.

3. Семенова, Н.И. Возвраты Пуанкаре в стробоскопическом сечении неавтономного генератора ван дер Поля / Н.И. Семенова, В.С. Анищенко // *Нелинейная динамика.* — 2014. — Т. 10, № 2. — С. 149–156.

4. Statistical properties of Poincaré recurrences and Afraimovich–Pesin dimension for the circle map / N.I. Semenova, T.E. Vadivasova, G.I. Strelkova, V.S. Anishchenko // *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* — 2015. — Vol. 22. — Pp. 1050–1061.

5. Semenova, N.I. Fibonacci stairs and the Afraimovich–Pesin dimension for a stroboscopic section of a nonautonomous van der Pol oscillator / N.I. Semenova, V. S. Anishchenko // *Chaos.* — 2015. — Vol. 25. — P. 073111.

6. Семенова, Н.И. Возвраты Пуанкаре и размерность Афраймовича–Песина в неавтономном консервативном осцилляторе / Н.И. Семенова, Т.И. Галктионова, В.С. Анищенко // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика.* — 2016. — Т.17, № 4. — С.195–203.

7. Semenova, N. How the Minimal Poincaré Return Time Depends on the Size of a Return Region in a Linear Circle Map / N. Semenova, E. Rybalova, V. Anishchenko // *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity.* — 2016. — Vol. 5, no. 4. — Pp. 355–364.

Опубликованы тезисы докладов на трех международных конференциях:

1. Biryukova, N.I. Poincaré recurrences in a stroboscopic section of a nonautonomous van der Pol oscillator / N.I. Biryukova, T.V. Abrosimova, V.S. Anishchenko // *International Conference “Nonlinear Dynamics of Deterministic and Stochastic Systems: Unraveling Complexity”.* — 2014.

2. Semenova, N.I. The Afraimovich–Pesin Dimension Of Poincaré Recurrences In A Circle Map / N.I. Semenova, T.E. Vadivasova, V.S. Anishchenko // *Topical Problems of Nonlinear Wave Physics.* — 2014.

3. Semenova, N.I. Poincaré Recurrences In The Stroboscopic Section Of A Nonautonomous Van Der Pol Oscillator / N.I. Semenova, V.S. Anishchenko // *Topical Problems of Nonlinear Wave Physics.* — 2014.

Общая оценка диссертации. Диссертационная работа «Возвраты Пуанкаре в эргодических системах» является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальных задач радиофизики и теории колебаний, заключающихся в расширении возможности применения статистики времен возврата Пуанкаре при исследовании характеристик динамических систем. В работе исследуются времена возврата Пуанкаре в системах с эргодическими квазипериодическими колебаниями.

Тема диссертации соответствует специальности 01.04.03 — «Радиофизика». Диссертация удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Возвраты Пуанкаре в эргодических системах» Семеновы Надежды Игоревны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика» как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», для кандидатских диссертаций.

Присутствовало на заседании 6 докторов наук и 6 кандидатов наук по профилю диссертации.

Результаты открытого голосования: «за» — 12 чел.; «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 (протокол №7 от «24» марта 2017 г.)

Профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», д.ф.-м.н., доцент

Шабунин Алексей Владимирович

