

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Семенова Владимира Викторовича

«Экспериментальное исследование стохастических бифуркаций в радиотехнических моделях автогенераторов и нелинейных осцилляторов»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.03 — радиофизика.

Задача о влиянии шума на динамику нелинейных систем является одной из ключевых в радиофизике уже на протяжении многих лет. Тем не менее она по-прежнему не теряет актуальности в силу невероятного многообразия эффектов, возникающих вследствие взаимодействия нелинейности и стохастичности. Кроме того, по причине неустранимости флуктуаций в реальных системах, обязательным условием успешного построения натуральных радиофизических систем является учёт влияния на них шумов. Для достижения этой цели с очевидностью необходимо детальное изучение как можно более широкого круга феноменов, связанных со стохастичностью в нелинейных системах. В силу этого *актуальность* диссертационного исследования Семенова В. В. не вызывает сомнения.

В диссертации рассмотрено достаточно большое число систем, среди которых такие широко используемые в радиофизике модели как генератор Ван дер Поля, Анищенко—Астахова и ФитцХью-Нагумо. Все они были реализованы в натурном эксперименте и в диссертации приведены соответствующие принципиальные схемы. Кроме натуральных экспериментов также было выполнено численное исследование соответствующих математических моделей. В целом можно сказать, что достигнуто достаточно хорошее соответствие экспериментальных и численных результатов.

Основные эффекты, изучаемые в диссертации, — это стохастическая бифуркация Андронова—Хопфа, когерентный резонанс в системах с запаздыванием, а также стохастические бифуркации в двухъямном осцилляторе с нелинейным трением.

Стохастическая бифуркация Андронова—Хопфа и когерентный резонанс уже изучались в литературе. Однако на сегодняшний день понимание природы этих эффектов нельзя считать исчерпывающим, и представленные в диссертации результаты существенным образом дополняют картину.

Экспериментально было показано, что типичным для стохастической бифуркации Андронова—Хопфа в генераторах с мягким возбуждением является возникновение бифуркационного интервала в пределах которого происходит качественная перестройка формы вероятностного распределения динамических переменных системы. Присутствие мультипликативного шума в таких системах приводит к сдвигу положения бифуркации на оси управляющего параметра, что позволяет говорить о возможности управления этой бифуркацией. Кроме того, установлено, что детальный характер стохастической бифуркации Андронова—Хопфа существенным образом зависит от характера выбранной системы.

Экспериментально и численно было исследовано влияние шума, как аддитивного, так и мультипликативного, на субкритическую бифуркацию Андронова—Хопфа. Выявлено наличие бифуркационного интервала и сдвига бифуркационных значений управляющего параметра.

Для явления когерентного резонанса было экспериментально исследовано влияние длительности запаздывания на характеристики эффекта. Было показано, что влияние запаздывания имеет общий характер. Меняя длительность запаздывания можно управлять степенью регулярности колебаний, возникающих в результате когерентного резонанса.

Кроме того, была сконструирована модель бистабильного осциллятора, и исследовано, как численно, так и экспериментально, влияние на неё шума. В отличие от аналогичной широко изучаемой в литературе системы, диссипация в предложенной системе носит нелинейный характер. Исследования выявили немонотонную зависимость средней частоты индуцированных шумом колебаний от интенсивности шума.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, *обоснованы в достаточной мере и достоверны*. Они получены на основе численных и экспериментальных исследований, прове-

дѣнных в рамках поставленных задач. Кроме того, положения логически согласованы с предшествовавшими результатами в этой области. Выполненные исследования и результаты, к которым они привели, являются *новыми*, они прошли апробацию на российских и международных конференциях и опубликованы в авторитетных реферируемых журналах.

В современной радиофизике значительная часть исследований выполняется применительно к упрощѣнным математическим моделям с привлечением вычислительных средств. При этом экспериментальным работам уделяется значительно меньшее внимание. По всей вероятности эта ситуация не самым лучшим образом влияет на сбалансированный процесс развития радиофизики. В связи с этим представленные в диссертации результаты, которые получены как численно, так и экспериментально, имеют *высокую значимость*. Результаты работы могут быть использованы в работе научных групп, занимающихся радиофизикой, в работе таких организаций как ИРЭ РАН, СГУ, СГТУ, а также в учебном процессе. *Автореферат точно отражает содержание работы.*

Замечания.

1. Экспериментальные установки в диссертации упоминаются как аналоговые модели изучаемых систем, заданных некоторыми уравнениями. Это методологически не верно. Именно натурные системы являются главным источником эмпирической информации. Уравнения играют по отношению к ним вспомогательную роль — это математические модели, полученные с использованием тех или иных упрощающих предположений.

2. Из приведѣнных в тексте диссертации принципиальных схем следует, что изучаемые экспериментальные установки имеют весьма сложное устройство. В силу того, что в работе основной акцент сделан именно на экспериментальных исследованиях, стоило бы более или менее подробно описать принципы их построения и функционирования. Приведѣнного в разделе 1.1 описания интегратора, как основного функционального элемента изучаемых установок, недостаточно.

3. В продолжение предыдущего пункта — судя по виду принципиальных схем, более или менее строго соответствующие им динамические

уравнения должны быть достаточно сложными, а приведённые в диссертации без вывода так называемые уравнения в физических переменных получаются вследствие некоторых упрощающих предположений (см. например уравнения (1.11), (1.13) (1.15), (2.3), (2.23) и др.). Вывод этих уравнений стоило бы поместить в диссертацию.

4. Уравнения в физических переменных, упоминавшиеся в предыдущем замечании, фактически совпадают с уравнениями, используемыми для численного счёта. Поэтому утверждение в разделе 1.3 формально выглядит неудачно: «Хотя аналоговая модель (1.13) не вполне строго в количественном отношении соответствует уравнениям (1.12)...». Уравнения (1.13) и (1.12) по сути одинаковые, и стоило бы говорить о том, что уравнение в физических переменных (1.13) не вполне строго соответствует экспериментальной установке.

5. При сопоставлении представленных в диссертации экспериментальных и численных результатов иногда приходится говорить только о более или менее качественной аналогии. Это, например, имеет место на рис. 1.5, а также на рис. 1.20 и 1.23. В диссертации коротко говорится, что причина этого в недостаточно точном соответствии экспериментальных установок и модельных уравнений. Однако, это очень существенный момент. Было бы важно подробнее обсудить причины наблюдаемого не очень высокого несоответствия, сделав акцент на фактических свойствах именно экспериментальных систем.

6. При обсуждении в разделе 1.2 системы (1.11) совершенно верно сказано, что малый аддитивный шум всегда присутствует в экспериментальной установке. В силу этого при изучении мультипликативного шума учтена также и малая добавка в виде аддитивного шума. Кажется очевидным аналогичным образом поступать при изучении всех систем в диссертации. Однако, к сожалению, это делается только для генератора Ван дер Поля. Для всех других рассмотренных систем при изучении мультипликативного шумового воздействия влияние неустраняемых аддитивных шумов не обсуждается.

Указанные недостатки не снижают впечатления о работе, которая свидетельствует о высокой квалификации автора. В диссертационной ра-

боте Семенова В. В. содержится *новое решение актуальной научной задачи* радиофизики. Она представляет собой *законченное исследование*, выполненное автором самостоятельно. Диссертация Семенова В. В. *удовлетворяет критериям* п. 9—14, установленными «Положением о присуждении ученых степеней» в редакции Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 для кандидатских диссертаций и соответствует специальности 01.04.03 — радиофизика. Ее автор, Семенов Владимир Викторович, *заслуживает присуждения* ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

Профессор кафедры «Приборостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» (Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, Эл. почта: p.kuptsov@sstu.ru, Телефон: 8452-99-88-14), д. ф.-м. н., доцент

12.09.2016

Купцов Павел Владимирович

Подпись П. В. Купцова заверяю, Учёный секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» д. т. н. проф.



12.09.2016

Бочкарев Петр Юрьевич