

## ОТЗЫВ

### научного руководителя

на диссертацию В.В. Семенова «Экспериментальное исследование стохастических бифуркаций в радиотехнических моделях автогенераторов и нелинейных осцилляторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиоп физика

Диссертация В.В. Семенова посвящена фундаментальной проблеме радиоп физики и теории колебаний, состоящей в исследовании стохастических явлений, вызванных в нелинейных колебательных системах действием случайных сил. Актуальность данной проблемы, объединяющей круг задач статистической радиоп физики и нелинейной динамики, связана с неизбежным присутствием случайных воздействий (шума) в любой реальной системе и существенной зависимостью поведения системы от наличия и характеристик таких воздействий. Для понимания и прогнозирования поведения реальных колебательных и волновых систем, как радиоп физических, так и любой другой природы необходимо знать, к каким эффектам может привести присутствующий в системе шум с теми или иными статистическими характеристиками. Исследование всевозможных индуцированных шумом явлений в нелинейных системах проводится в течении многих лет, однако далеко не все они изучены в полной мере. Сложность состоит в многообразии таких явлений, а также в ограниченности возможностей применения аналитических методов в условиях сильной нелинейности и значительных интенсивностей шума. Методы, основанные на численном моделировании, в этих условиях также не могут быть недостаточно надежными и в определенных случаях приводят к существенным ошибкам. Таким образом, при исследовании шумовых воздействий на нелинейные системы очень важно проведение целенаправленных физических экспериментов и сопоставление их результатов с результатами численного

моделирования. Однако подобные исследования в научной литературе встречаются не так часто и многие стохастические явления до настоящего времени не были в достаточной степени исследованы экспериментально.

В работе В.В. Семенова рассматривается ряд задач, связанных со стохастическими бифуркациями в радиотехнических моделях автогенераторов и нелинейных осцилляторов и эффектами, сопровождающими эти бифуркации. Под стохастическими бифуркациями принято понимать бифуркационные явления в системах с шумом. Задачи, рассмотренные в работе, были выбраны в силу их слабой изученности в целом или по причине отсутствия физических экспериментов, подтверждающих известные теоретические результаты. К таким задачам относятся исследование стохастической бифуркации Андронова-Хопфа (мягкой и жесткой), определяющей переход к автоколебательному режиму, исследование взаимосвязи стохастических бифуркаций в генераторе с жестким возбуждением с явлением когерентного резонанса (КР) и влияния запаздывающей обратной связи на бифуркации и характеристики КР, исследование индуцированных шумом переходов в бистабильном осцилляторе с нелинейной диссипацией, зависящей от мгновенных значений динамических переменных. Главным методом исследований В.В. Семенова является натурный эксперимент с применением аналогового моделирования и компьютерной обработки экспериментальных данных. Результаты сопоставляются с данными приближенной теории и численными расчетами.

В работе В.В. Семенова получен ряд важных новых научных результатов. К наиболее существенным из них можно отнести следующие.

- Экспериментально показано, что стохастическая бифуркация Андронова-Хопфа, как мягкая (суперкритическая), так и жесткая (субкритическая) в системах с аддитивным шумом характеризуются бифуркационным интервалом, представляющим собой интервал значений управляющего параметра, в пределах которого наблюдается

постепенная перестройка формы вероятностного распределения динамических переменных. Этот эффект неизбежен во всех автогенераторах, колебания которых отличны от строго гармонических. При этом конкретный характер эволюции распределения и расположение границ бифуркационного интервала существенно зависят от особенностей динамической системы.

- Экспериментально показан запаздывающий характер стохастических бифуркаций в автогенераторах с мультипликативным шумом, причем, как правило, бифуркационный интервал в экспериментах с мультипликативным шумом не наблюдался.
- Экспериментально подтверждена взаимосвязь явления когерентного резонанса в генераторе с жестким возбуждением со стохастическими бифуркациями вероятностного распределения мгновенной амплитуды. Показана возможность управления характеристиками КР с помощью дополнительной цепочки обратной связи. Причем эффективность данного метода продемонстрирована в радиотехнических экспериментах как для генератора с жестким возбуждением, так и для возбудимого осциллятора ФицХью-Нагумо.
- Предложена простая и достаточно универсальная модель бистабильного осциллятора, коэффициент диссипации которого существенно зависит от мгновенного состояния системы. Воздействие на осциллятор аддитивного шума приводит к стохастическим бифуркациям (индуцированным шумом переходам), являющимся причиной немонотонного характера зависимости средней частоты переключений и дисперсии колебаний от интенсивности шума. Данная модель легко реализуется экспериментально. Эксперименты показали возможность управления статистическими характеристиками осциллятора с помощью вариации интенсивности шума.

В.В. Семенов в течении многих лет, начиная со второго курса специалитета, активно занимается научными исследованиями на кафедре радиофизики и нелинейной динамики СГУ. Главным направлением его научной деятельности является статистическая радиофизика, случайные сигналы в нелинейных цепях, исследование влияния шума на нелинейные колебательные системы. В.В. Семенов в совершенстве освоил схемотехнику, работу с измерительной радиоаппаратурой любой сложности, методы аналогового моделирования. Он является специалистом высокого класса в области создания радиотехнических экспериментальных установок и проведения экспериментов. Кроме того, В.В. Семенов прекрасно владеет компьютерной техникой. Все экспериментальные данные в проводимых им исследованиях он обрабатывает на компьютере с помощью специальных программ, написанных им самим. Он также широко применяет методы компьютерного моделирования, результаты которого детально сопоставляются с результатами физических экспериментов. В.В. Семенов прекрасно подготовлен и в теоретическом отношении. Он хорошо знаком с методами построения математических моделей, с теорией нелинейных колебаний и волн, нелинейной динамикой, теорией случайных процессов. Он владеет приближенными аналитическими методами исследования нелинейных систем и, по возможности, применяет их в своих исследованиях.

В.В. Семенов в течении ряда лет является исполнителем научных проектов, осуществляемых на кафедре радиофизики и нелинейной динамики. Среди них Федеральная целевая программа «Научные и научно – педагогические кадры инновационной России (контракты №14.740.11.0074 и №14.В37.21.0751), гос. задание Министерства образования и науки РФ (код проекта 1008), грант РФФИ (№15-02-02288), международный грант РФФИ и Немецкого Физического Общества (№ 14-52-12002). В рамках международного гранта РФФИ В.В. Семенов неоднократно был в Германии, где проводил совместные исследования с коллегами из Берлинского

Технического университета, имеет совместные доклады и публикации. Он приобрел большой опыт работы в международных научных коллективах, ознакомился с новейшими научными достижениями и методами исследований в своей области. Результаты, вошедшие в диссертационную работу В.В. Семенова, регулярно докладывались на научных конференциях международного уровня. По теме диссертационного исследования В.В. Семеновым совместно с соавторами опубликовано 15 работ, в том числе 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК. Кроме задач, представленных в диссертации им проводились и проводятся серьезные исследования в рамках тематики, не вошедшей в диссертационную работу. Среди них изучение влияния динамического шума на характеристики передачи информационного сигнала с помощью модуляции параметров хаотического автогенератора, анализ особенностей автоколебаний и влияния шума в генераторе, содержащим мемристивный элемент, исследование шумовой стабилизации виртуальной химеры в нелинейном осцилляторе с цепочкой запаздывающей обратной связи. Результаты этих научных работ также вошли в отчеты по ряду грантов и были представлены в научных публикациях.

В.В. Семенов имеет хороший опыт педагогической работы со студентами. Он проводил занятия со студентами в учебных практикумах кафедры радиофизики и нелинейной динамики, участвовал в разработке и постановке ряда лабораторных работ, являлся (и в настоящее время является) руководителем курсовых и дипломных работ бакалавров и магистров.

Диссертация В.В. Семенова написана хорошим научным языком, с подробным и ясным изложением результатов. Все результаты работы отражены в имеющихся публикациях и докладывались на научных конференциях, включая 3 международных, на научных семинарах в Берлинском Техническом университете (г. Берлин, Германия) и научных семинарах кафедры радиофизики и нелинейной динамики СГУ. Существенные замечания по диссертации с моей стороны отсутствуют.

Автореферат полностью отражает суть и результаты диссертационной работы.

Диссертация В.В. Семенова является законченным исследованием и вносит заметный вклад в развитие важного направления статистической радиофизики и теории нелинейных колебаний. Работа полностью соответствует специальности 01.04.03 – «радиофизика» и удовлетворяет всем требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что автор диссертации, В.В. Семенов достоин присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Профессор кафедры радиофизики  
и нелинейной динамики, доктор  
физ.-мат. наук, профессор ФГБОУ  
ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»  
г. Саратов, 410012, Астраханская 83  
тел. 8(8452)210-710  
vadivasovate@yandex.ru

Вадивасова  
Татьяна Евгеньевна

