

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Семенова Владимира Викторовича
«Экспериментальное исследование стохастических бифуркаций в радиотехнических моделях автогенераторов и нелинейных осцилляторов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика»

Данная диссертационная работа посвящена актуальному направлению в радиофизике и нелинейной динамике, связанному с исследованием стохастических явлений в нелинейных системах с источниками шума. Шум воздействует на любую реальную динамическую систему и является в принципе неустранимым фактором. Изучение результатов его влияния крайне важно во многих научных направлениях и сферах практической деятельности. Всем известно, как важно учитывать влияние шума в системах радиосвязи. Широкий круг исследований в этой области привел к формированию целого научного направления — статистической радиофизики. Однако стохастические эффекты играют огромную роль не только в задачах радиофизики. Они важны при разработке любых механизмов и технических устройств. Особую, и не всегда негативную, роль источники шума играют в жизнедеятельности живых организмов от внутриклеточных процессов до динамики популяций и существования экосистем. Исследование влияния случайных воздействий привлекает всё больше внимания ученых в сфере моделирования экономических и социологических процессов. Явления, связанные с шумом в нелинейных системах, могут быть очень разнообразны. Шум не только заставляет траектории отклоняться от аттракторов, существующих в фазовом пространстве детерминированной системы, но и в ряде случаев вызывает резкое качественное изменение поведения системы, которое в реальности может быть катастрофическим. Взаимодействие нелинейности и стохастичности может приводить к неожиданным стохастическим эффектам, не имеющим аналогов в детерминированных моделях: индуцированным шумом переходам, стохастическому резонансу, когерентному резонансу, стохастической синхронизации, индуцированным шумом преобразования хаоса и т.д. Несмотря на важность проблем, связанных с влиянием шума, наличием ряда фундаментальных результатов и значительного количества научных публикаций, в целом данное направление далеко от завершения и продолжает активно развиваться.

Одной из важных задач является разработка для стохастических систем адекватного варианта теории бифуркаций. Вместо «обычных» бифуркаций, наблюдающихся в детерминированных системах, и связанных с преобразованием предельных множеств, в системах с шумом наблюдаются, так называемые, стохастические бифуркации. Чаще всего они определяются, как качественное изменение формы стационарного вероятностного распределения, существующего в пространстве динамических переменных системы с источниками шума. Стохастическим бифуркациям посвящено много публикаций, однако

полностью они не описаны и не классифицированы. Кроме того, не изучена в достаточной степени связь стохастических бифуркаций с характеристиками колебаний в системе. Диссертационная работа В.В. Семенова посвящена именно этой проблематике. В ней исследуются стохастические бифуркации в ряде радиотехнических моделей и показывается, как именно шум нарастающей интенсивности может изменять поведение системы, какую роль будут играть такие свойства системы, как ангармоничность, бистабильность, наличие запаздывающих обратных связей. Исследуются также различия стохастических эффектов, наблюдаемых в случае разного характера шума: аддитивного и мультипликативного.

Важнейшей положительной чертой данной работы является ее экспериментальный характер. Все исследуемые эффекты были получены в физическом эксперименте и затем подтверждены с помощью компьютерного моделирования. Такой подход исключает возможные ошибки в выводах, связанных с погрешностями численного моделирования, с получением на компьютере не реализуемых в действительности решений. Надо отметить, что экспериментальных работ, посвященных исследованию стохастических бифуркаций и связанных с ними эффектов, до настоящего времени крайне мало. Кроме того, что в работе впервые были экспериментально подтверждены многие важные теоретические выводы, например, существование бифуркационного интервала у бифуркации Андронова-Хопфа при аддитивном шумовом воздействии или влияние цепи запаздывающей обратной связи на эффект когерентного резонанса, были также установлены новые эффекты, которые не были ранее рассмотрены ни теоретически, ни в численном эксперименте. К таким эффектам относится существование бифуркационного интервала у стохастической субкритической бифуркации Андронова-Хопфа. Ранее эта бифуркация была теоретически проанализирована на примере гармонического автогенератора Хопфа (Стюарта-Ландау), где, в силу строгой гармоничности, бифуркационный интервал просто не может существовать. Можно отметить важное экспериментальное подтверждение идеи управления свойствами стохастической системы, в частности стохастическими бифуркациями и корреляционными характеристиками стохастических колебаний с помощью дополнительной запаздывающей обратной связи. К существенным достижениям работы также можно отнести управляемые шумом бифуркационные явления в бистабильном осцилляторе с нелинейным трением, представленные в последней главе. Хочется отметить интересную интерпретацию данных явлений в терминологии поведения нульклин, а также хорошее соответствие численного и физического экспериментов.

В то же время, по работе можно высказать некоторые замечания:

1. В первой главе исследуются только перестройки вероятностных распределений и не приводится никаких других характеристик колебаний. Хотелось бы выяснить, как

обнаруженные бифуркационные явления отражаются на форме колебаний, степени их упорядоченности, спектрально-корреляционных свойствах и т.д.

2. Не рассмотрена область малых интенсивностей шума, где возможен асимптотический анализ в рамках квазигармонических приближений.
3. Во второй главе говорится, что влияние запаздывающей обратной связи на характеристики когерентного резонанса носит один и тот же характер, как в возбудимом осцилляторе ФитцХью-Нагумо, так и в генераторе с жестким возбуждением, но механизмы этого влияния различны. При этом раскрыт такой механизм только для генератора с жестким возбуждением. Хорошо было бы пояснить, какой механизм влияния реализуется в возбудимом осцилляторе и почему при всех различиях обе системы демонстрируют сходное поведение.
4. Результаты третьей главы очень интересны, но предложенная модель бистабильного осциллятора выглядит несколько искусственной. Хотелось бы знать, могут ли описанные явления наблюдаться в более традиционных моделях нелинейной динамики, например, в том же осцилляторе Дуффинга при соответствующем задании коэффициента трения с помощью нелинейной функции динамических переменных?
5. Исследуемые в диссертации стохастические бифуркации относятся к так называемым R-бифуркациям. Было бы интересно провести их сравнительный анализ с другим известным типом стохастических бифуркаций – D-бифуркациями.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают значения работы. В целом диссертация В.В. Семенова производит очень хорошее впечатление. Она является серьезным научным исследованием, посвященным актуальным научным проблемам и содержит важные научные результаты, наиболее интересные из которых были отмечены выше. Особенно хочется подчеркнуть цельный характер работы, посвященной единой теме – стохастическим бифуркациям и связанным с ними индуцированным шумом явлениям, а также экспериментальную направленность проведенных исследований. Результаты диссертационного исследования широко и полно отражены в научных публикациях (всего 15 публикаций, из них 10 – статьи в журналах, рекомендованных ВАК), а также представлены на научных конференциях высокого уровня.

Считаю, что диссертационная работа «Экспериментальное исследование стохастических бифуркаций в радиотехнических моделях автогенераторов и нелинейных осцилляторов» удовлетворяет всем требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, и соответствует

специальности 01.04.03 — «Радиофизика». Её автор, Семенов Владимир Викторович, достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Д.ф.-м.н., профессор кафедры математической физики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002 Россия,
г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
телефон: +73433507541
e-mail: lev.ryashko@urfu.ru

Ряшко Лев Борисович
20.06.2016



Лев Борисович Ряшко
заведующий кафедрой
Член совета директоров ЦРФУ
А.А. Омичко