

## **Отзыв официального оппонента**

Кащенко Сергея Александровича

на диссертационную работу

Клиньшова Владимира Викторовича

«Колебания в сложных системах с импульсными взаимодействиями»,

представленную на соискание

ученой степени доктора физико-математических наук

по специальности 01.04.03 - Радиофизика

Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. Исследование автоколебаний в системах различной природы является одной из центральных тем радиофизики, и в работе охвачен достаточно широкий класс таких систем: системы с импульсными сигналами. Этот класс является важным, так как импульсные взаимодействия встречаются в природе и технике повсеместно, от лазерной физики и до динамики нейронных сетей. С теоретической точки зрения системы с импульсными взаимодействиями требуют особого рассмотрения, так как сочетают в себе черты непрерывной и дискретной динамики: состояние системы изменяется скачкообразно в моменты импульсных воздействий и непрерывно между воздействиями. Задача адекватного описания и изучения такого поведения является важной как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Исследование систем с импульсными воздействиями восходит к работам А.М. Самойленко, Н.А. Перестюка и их учеников, которые сформулировали математически понятия импульсных дифференциальных уравнений, решений таких уравнений и их устойчивости. Настоящая диссертационная работа посвящена изучению колебаний в импульсных системах, отличающихся той или иной сложностью: распределенным (сетевым) характером, наличием сильной нелинейности, временного запаздывания, неоднородности параметров и т.п.

Основными целями работы являются разработка новых аналитических и численных методов описания автоколебательных систем с импульсными сигналами, а также исследование с помощью разработанных методов динамики сложных, преимущественно сетевых автоколебательных систем с импульсными взаимодействиями. Решаются такие задачи как развитие новых методов описания



воздействия импульсных сигналов на автоколебательные системы, разработка численных и аналитических методов исследования динамики автоколебательных сетей с импульсными связями, исследование влияния временного запаздывания на коллективную динамику автоколебательных сетей с импульсными связями, разработка и исследование редуцированных моделей для описания среднеполевой динамики нейронных сетей с кластерными структурами связей. В работе получены многочисленные результаты о колебаниях в сложных импульсных системах, совокупность которых позволяют считать ее целостным исследованием, закрывающим важную научную проблему.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1) Разработана функция переустановки фазы автоколебательной системы под действием серии сильных и частых импульсов в зависимости от фаз их воздействия. Данный подход, по сути, позволяет распространить широко известную и применяемую технику фазовой редукции на случай, когда система претерпевает значительное удаление от предельного цикла.

2) Разработаны методы описания устойчивости мультистабильных систем к воздействию сильных импульсных сигналов.

3) Предложены методы сведения динамики систем с импульсными связями к точечным отображениям, применимые в том числе в случае запаздывающих связей. Данные методы позволили существенно продвинуться в исследовании динамики систем с запаздыванием, которая в общем случае разворачивается в бесконечномерном фазовом пространстве, но благодаря импульсному характеру связей оказывается сводимой к конечномерному многообразию.

4) Получен целый ряд новых результатов о динамике систем с запаздывающими связями. Обнаружены новые режимы поведения таких систем. Так, в автогенераторе с импульсными запаздывающими связями получены и детально исследованы принципиально новые, ранее неизвестные длиннопериодические режимы, названные "дрожащими" и возникающие при потере устойчивости колебаниями с периодом, близким к собственному. Проведено полное аналитическое исследование этих режимов - получен их вид, условия существования и устойчивости. Детально изучена синхронизация ансамблей автоколебательных систем с запаздывающими связями, в том числе в случае большого запаздывания. Доказана возможность различных видов синхронизации при сколь угодно большой величине запаздывания.



Все результаты, полученные в работе, представляются обоснованными и достоверными, что подтверждается хорошим соответствием аналитических результатов и результатов численного моделирования. Кроме того, многие результаты подтверждены в физическом эксперименте. При этом работа не свободна от недостатков:

1. В подразделе 2.3.1 рассматривается динамика генератора ФитцХью-Нагumo с импульсной обратной связью, причем длительность импульсов не уточняется. В связи с этим непонятно, как к такой системе можно применять событийный подход, разработанный для импульсов бесконечно малой длительности.

2. В разделе 2.2 проводится довольно детальное исследование так называемых «дрожащих» режимов в системе с запаздыванием, однако нигде не исследуется их устойчивость. Было бы полезно провести такое исследование, особенно в связи с утверждением о высокой мультстабильности системы.

3. В третьей главе изучена синхронизация в популяциях активных элементов, причем во втором разделе исследована роль запаздывания, а в третьем — роль неоднородности параметров. Было бы интересно понять роль этих факторов, когда они присутствуют совместно в одной системе.

4. В четвертой главе синаптическая задержка присутствует и, видимо, играет важную роль в модели со спайковыми нейронами, но не учитывается в редуцированной модели для нейронной активности. Следует пояснить это различие.

Приведенные замечания не снижают ценности диссертационной работы, которая является целостным законченным исследованием и соответствует всем требованиям ВАК. Автореферат полностью соответствует содержанию работы. Считаю, что Клиньшов Владимир Викторович достоин присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 — Радиофизика.

Даю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Отзыв составил:

Д.ф.-м.н., проф., первый проректор

Ярославского государственного университета

им. П. Г. Демидова



С.А. Каценко

**Сведения о составителе отзыва:**

Кащенко Сергей Александрович, профессор, доктор физико-математических наук.

Почтовый адрес: 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д.14. Тел. +7 (4852) 79-77-89

Эл. адрес: [kasch@uniyar.ac.ru](mailto:kasch@uniyar.ac.ru). Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова». Должность:

первый проректор, профессор. Специальность, по которой защищена докторская диссертация: 01.01.02- дифференциальные уравнения и математическая физика.

Подпись Кащенко Сергея Александровича заверяю:



## Список основных трудов Кащенко С.А. за 2017-2021 гг.

1. Kashchenko S. A. Dynamics of advectively coupled Van der Pol equations chain. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 31, p. 033147 (2021)
2. Grigorieva E. V., Kashchenko S. A. Rectangular structures in the model of an optoelectronic oscillator with delay, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 417, p. 132818 (2021)
3. Кащенко С.А. Локальная динамика цепочки связанных уравнений Ван-дер-Поля. *Известия вузов. Радиофизика*, 63, с. 863 (2020).
4. Kaschenko S.A. The interaction of waves in the Fermi–Pasta–Ulam model, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 91, p. 105436 (2020)
5. Кащенко С.А. Асимптотика быстро осциллирующих решений в модифицированном уравнении Камассы-Холма, *Теоретическая и математическая физика*, 203(1), с. 40-55 (2020)
6. Кащенко С.А. Асимптотики регулярных решений в задаче Камасса-Холма, *Журнал вычислительной математики и математической физики*, 60(2), с. 253-266 (2020)
7. Григорьева Е.В., Кащенко С.А. Нормализованные краевые задачи в модели оптико-электронного осциллятора с запаздыванием. *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*, 28(4), с. 361-382 (2020)
8. Глызин С.Д., Кащенко С.А. Семейство конечномерных отображений, индуцированных логистическим уравнением с запаздыванием, *Математическое моделирование*, 32(3), с. 19-46 (2020)
9. Кащенко С.А. Асимптотика быстро осциллирующих решений обобщенного уравнения Кортевега-де Фриза-Бюргерса, *Успехи математических наук*, 74(4), с. 181-182 (2019)
10. Григорьева Е.В., Кащенко С.А. Медленные и быстрые колебания в модели оптико-электронного осциллятора с запаздыванием, *Доклады Академии наук* 484(1), с. 21-25 (2019)

11. Кащенко А.А., Кащенко С.А. Асимптотика решений системы двух слабо связанных генераторов релаксационных колебаний с запаздывающей обратной связью. Известия вузов. Радиофизика, 61, с. 711 (2018)
12. Григорьева Е.В., Кащенко С.А. Мультистабильность пиковых режимов в модели лазера с запаздывающей обратной связью. Известия вузов. Радиофизика, 61, с. 690 (2018)
13. Кащенко С. А. Динамика двухкомпонентных параболических систем шредингеровского типа. Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 26(5), с. 81-100 (2018)
14. Kashchenko S. A. Bifurcations in Kuramoto–Sivashinsky equations. Theoretical and Mathematical Physics, 192(1), p. 958-973 (2017)
15. Kashchenko A. Stability of External Cavity Modes in the Model of Semiconductor Laser with Large Delay. Nonlinear Phenomena in Complex Systems, 20(1), p. 12-20 (2017)