

Отзыв официального оппонента

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

Диссертация В.В. Клиньшова развивает традиции нижегородской радиофизической школы, для которой характерно осознание радиофизики как мощного универсального подхода к изучению широкого круга явлений различной физической природы. Работа посвящена колебаниям в сложных системах, отличительной особенностью которых являются импульсные взаимодействия. Примеры таких систем в природе и технике многочисленны: нейронные сети, оптоэлектронные устройства, коммуникационные сети и проч. Таким образом, в актуальность диссертационного исследования не вызывает сомнений. В работе развиты универсальные подходы и методы, позволяющие аналитически и численно исследовать динамику систем с импульсными взаимодействиями, а также изучено поведение целого ряда важных парадигматических систем такого типа, получено большое число новых результатов об их динамике.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет 381 страницу, она содержит 80 рисунков и список литературы из 401 наименования. В автореферате содержание работы изложено достаточно полно.

Введение включает обзор работ по теме диссертации, обсуждение ее актуальности, формулировку целей и задач исследования, а также основных положений, выносимых на защиту. Также обосновывается достоверность полученных результатов, их научная значимость и новизна.

Первая глава посвящена разработке новых методов исследования динамических систем при импульсном воздействии в приближении бесконечно коротких импульсов, действие которых, по сути, сводится к мгновенному изменению состояния системы. В отличие от классической установки на исследование аттракторов, то есть установившихся режимов, в работе фокус внимания сосредоточен на переходных процессах, возникающих в системе непосредственно после импульсного воздействия. Рассмотрены два случая: а) когда система через некоторое время после воздействия возвращается на исходный аттрактор и б) когда воздействие приводит к ее переключению на другой аттрактор. Для различения этих двух случаев введено понятие порога устойчивости, или порога переключения — минимального по амплитуде возмущения, которое способно перевести систему с одного аттрактора на другой. Предложен

численный метод, позволяющий оценивать порог устойчивости достаточно широкого класса динамических систем. Ряд примеров, рассмотренных в работе, показывает работоспособность предложенного метода и важность получаемой с его помощью величины порога устойчивости для понимания свойств динамических систем. В мультистабильных системах с большим числом аттракторов вычисление порогов переключения для всех аттракторов позволяет понять структуру фазового пространства системы даже в многомерном случае. В случае подпорогового, но достаточно сильного воздействия динамическая система возвращается к исходному аттрактору, однако за время возвращения может посещать достаточно удаленные от него области фазового пространства. Для описания такой динамики в случае, когда аттрактором является предельный цикл, предложен подход так называемой функции фазового отклика. Он позволяет вычислять фазовый сдвиг системы под действием внешнего сигнала даже в случае ее существенного отдаления от предельного цикла.

Во второй главе автор переходит к исследованию сетевых систем с импульсными взаимодействиями, формулирует общую модель системы такого вида и предлагает метод сведения ее динамики к многомерному точечному отображению. Предложенная техника редукции оказывается в ряде случаев довольно эффективной, и в дальнейшем автор использует ее для аналитического и численного исследования различных систем с импульсными связями. Кроме того, подход на основе импульсных связей позволяет сводить к конечномерным отображениям системы с временным запаздыванием, которые в общем случае обладают бесконечномерным фазовым пространством. С помощью данного подхода исследован ряд систем с импульсными запаздывающими связями. Для автоколебательной системы с импульсной запаздывающей обратной связью изучен механизм дестабилизации регулярных автоколебаний с одновременным возникновением большого числа сложных длиннопериодических режимов. Получено условие бифуркации и явный вид возникающих решений, показано, что их число экспоненциально увеличивается с ростом величины задержки. Для системы из двух автоколебательных систем с импульсными запаздывающими связями исследованы режимы синхронизации и условия ее разрушения. Показано, что зоны синхронизации в пространстве параметров системы могут наблюдаться при сколь угодно больших величинах задержки, а их структура близка к периодической.

В третьей главе продолжается исследование сетевых систем с импульсными запаздывающими связями, причем рассматриваются уже системы с большим числом составных подсистем — популяции и сети активных элементов. Для сетевой системы с кольцевой топологией связей получен весьма общий результат о форме и устойчивости фазовых волн, которые могут распространяться по кольцу. Показана связь между такими

волновыми решениями кольцевой системы и периодическими решениями вспомогательной системы, представляющей собой одно уравнение с запаздыванием. Для кольцевой сети с импульсными связями это позволило получить условие существования и форму фронта сложных длиннопериодических волн. Для сети автоколебательных элементов с глобальными импульсными запаздывающими связями получено условие полной синхронизации. Показано, что синхронизация возможна при сколь угодно больших величинах запаздывания. Зоны синхронизации в пространстве параметров системы формируют структуру, близкую к периодической относительно величины запаздывания, также ширина зон увеличивается при росте силы связи. Исследовано также влияние неоднородности параметров элементов сети на формирующиеся в ней режимы коллективного поведения. Построена полная бифуркационная диаграмма системы в термодинамическом пределе, продемонстрировано два различных сценария рождения коллективных колебаний — мягкий и жесткий. Также обнаружены области бистабильности в пространстве параметров, приводящие к гистерезисному характеру переходов между различными коллективными режимами.

Четвертая глава посвящена моделированию коллективного поведения нейронных сетей коры головного мозга с учетом реалистичной структуры синаптических связей. Предложена модель сети, содержащая кластеры более сильно связанных нейронов, и показано, что при определенном выборе параметров статистические характеристики связей воспроизводят результаты экспериментов с реальными кортикальными сетями *in vivo*. Для исследования коллективной динамики сетей с кластерами разработан метод их редукции к низкоразмерным динамическим системам для усредненных переменных, описывающих активность отдельных кластеров. Следует заметить, что из-за наличия связей между кластерами модель, описывающая сеть в целом, отнюдь не сводится к совокупности моделей для каждого кластера в отдельности, но включает взаимодействия между кластерами. Проведено достаточно полное бифуркационное исследование редуцированной модели, в результате чего показано, что при достаточно высокой степени кластеризации в сети возникают режимы повышенной локальной активности, при которых частота возбуждения отдельных кластеров существенно превышает среднюю по сети. В зависимости от параметров и размера сети режимы повышенной локализованной активности могут быть либо устойчивыми, либо метастабильными. В первом случае возбуждение кластеров происходит в результате действия внешнего стимула, а во втором может происходить спонтанно. Обнаруженные режимы могут играть важную роль в процессах обработки информации в кортикальных сетях головного мозга.

К работе имеется ряд замечаний:

1. Развиваемый в первой главе подход на основе порогов устойчивости и порогов переключения предполагает, что все аттракторы исследуемой динамической системы известны. Между тем, зачастую сама задача нахождения этих аттракторов зачастую является нетривиальной, например в случае наличия в фазовом пространстве скрытых аттракторов. Представляется, что такие аттракторы могут существенно влиять на величину порога устойчивости в сторону его снижения. Следовало бы обсудить такую возможность в работе.

2. Казалось бы естественным применить метод порогов переключения из первой главы к мультистабильным системам, рассматриваемым в следующих главах, например к кластерным сетям.

3. Результаты о синхронизации колебательных элементов с импульсными запаздывающими связями (вторая и третья главы) сформулированы в достаточно общем виде, тогда как исследование в работе проведено только для частного случая гармонической функции связи. Необходимо уточнить, какие результаты справедливы только для данного вида связи, а какие — и для других видов связи, и для каких именно.

4. Аналогичное замечание касается вида передаточной функции, используемого при исследовании нейронных сетей в четвертой главе. Необходимо пояснить, чем продиктован выбор передаточной функции строго определенного вида, и насколько существенным может быть влияние ее вида на полученные результаты.

Приведенные замечания не снижают ценности работы и общего положительного впечатления от нее. Диссертационная работа В.В. Клиньшова, несомненно, является серьезным целостным исследованием, обладающим научной новизной и значимостью. Работа вносит существенный вклад в развитие теории динамических систем, в ней развиты новые оригинальные методы описания воздействия импульсных сигналов на автоколебательные системы, а также новые методы численного и аналитического исследования сетевых систем с импульсными запаздывающими связями. Получено большое число важных научных результатов: обнаружены и изучены новые динамические режимы автоколебательных систем с импульсными взаимодействиями, условия возникновения этих режимов, описаны новые, ранее неизвестные динамические механизмы их формирования. Изучены общие сценарии и механизмы переходов между синхронными и асинхронными режимами в автоколебательных сетях с импульсными связями. Разработаны новые методы редукции динамики нейронных сетей к низкоразмерным динамическим системам, с их помощью исследована коллективная динамика нейронных сетей с реалистичными структурами связей. Полученные в диссертационной работе результаты отличаются высоким научным уровнем, что

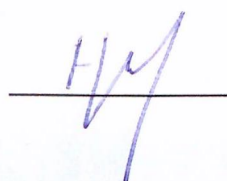
подтверждается большим числом публикаций в высокорейтинговых международных журналах.

Подводя итог, можно сделать вывод, что представленная диссертационная работа соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, и ее автор Клиньшов Владимир Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 — Радиофизика.

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

Отзыв составил:

Д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой
прикладной кибернетики СПбГУ



Н.В. Кузнецов

Сведения о составителе отзыва:

Кузнецов Николай Владимирович, профессор, доктор физико-математических наук. Почтовый адрес: Университетский пр. 28, Петергоф, Санкт-Петербург, 198504. Тел. +7 (812) 4284015. Адрес электронной почты: n.v.kuznetsov@spbu.ru. Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет». Должность: профессор, заведующий кафедрой прикладной кибернетики. Специальность, по которой защищена докторская диссертация: 05.13.08 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки)».

Подпись Николая Владимировича Кузнецова заверяю:

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ РАБОТЫ
ГУОРП
ОС СУВОРОВА



Суворов О.С.