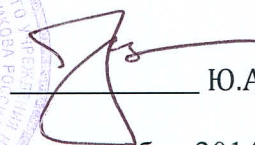


УТВЕРЖДАЮ

Руководитель СФирЭ  
имени В.А. Котельникова РАН



  
Ю.А. Филимонов  
«27» ноября 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН»

на диссертацию Слепнева Андрея Вячеславовича

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Тема диссертации «Автоколебательные процессы в одномерных детерминированных и флуктуирующих активных средах с периодическими граничными условиями»

Шифр специальности 01.04.03 – Радиоп физика.

Диссертационная работа А.В. Слепнева посвящена исследованию особенностей поведения автоколебательных и возбудимых активных сред. Исследуются особенности перехода к турбулентному состоянию в модели среды со сложным поведением элементов, а также качественные различия поведения среды в автоколебательном и возбудимом режиме, анализируются эффекты шумового воздействия на среду, изучается явление вынужденной синхронизация среды гармоническим внешним воздействием. Подобные вопросы широко обсуждаются в рамках различных научных дисциплин, включая радиоп физика, нейродинамику и биофизику, физику атмосферы и др. В частности, при описании процессов в различных структурах головного мозга (нейроны, глиальные клетки, внеклеточный матрикс) используют распределенные модели не только в виде дискретных цепочек связанных элементов, но и в виде сплошных сред. При этом среды могут отличаться временными масштабами и свойствами активности или возбудимости элементов. В физике атмосферы и океана большое число исследований наблюдаемых пространственных полей температуры и атмосферного давления связано с введением различных «мод колебаний» (например, через эмпирические ортогональные функции с учетом) и описанием наблюдаемых процессов в терминах динамики и взаимодействия этих мод. При этом существуют и альтернативные точки зрения, основанные на введении других характеристик (например, более локализованных структур – feature tracking, и т.п.). В диссертационной

работе затрагивается общая теоретическая постановка вопроса о пространственных модах и их эволюции в нелинейных системах, что может быть востребовано и в упомянутых атмосферных и климатических исследованиях. Можно добавить, что исследование возможных типов поведения активных распределенных систем и сред с различными характеристиками важно и в связи с широким распространением таких систем и сред в технике. Несмотря на большое количество научных публикаций в этой области, при исследовании динамики активных сред обнаруживаются всё новые эффекты и ставятся новые вопросы. Таким образом, тематика диссертационной работы важна в фундаментальном и прикладном плане, поставленные задачи актуальны для радиофизики и теории колебаний и волн.

Диссертация состоит из трех глав. В *первой главе* рассматривается вопрос о различии динамики сред с активными и возбудимыми элементами. Во многих случаях активную среду можно представить состоящей из бесконечно большого числа бесконечно маленьких элементов, которые могут быть автогенераторами, возбудимыми осцилляторами или системами с несколькими (обычно двумя) устойчивыми точками равновесия. В зависимости от динамики этих элементов принято разделять активные среды на автоколебательные, возбудимые и бистабильные. При исследовании автоколебательных сред наиболее часто в качестве элемента ранее рассматривался квазигармонический осциллятор. В развитие исследования автоколебательных сред со сложной (в том числе хаотической) динамикой элементов в диссертации исследуются пространственно-дискретные модели. А именно, конструируются две модели активной среды с периодическими граничными условиями: автоколебательная среда, элементами которой являются генераторы Анищенко – Астахова, и среда, составленная из осцилляторов ФитцХью – Нагумо. Для обеих сред демонстрируется фазовая мультистабильность, исследуется динамика этих активных сред при вариации управляющих параметров в отсутствие внешних воздействий. Для первой среды иллюстрируется сценарий развития пространственной турбулентности, не наблюдающийся в соответствующих моделях с конечным числом элементов и состоящий в постепенном усложнении волнового профиля и возникновении все более мелкомасштабных пространственных осцилляций при неизменном характере колебаний во времени. Для второй среды демонстрируется наличие бифуркационного интервала при переходе элементарной ячейки и возбудимого состояния в автоколебательное, в пределах которого наблюдается качественное изменение характеристик некоторых волновых мод.

Во *второй главе* диссертации изучается воздействие на среду источников шума. Из анализа систем малой размерности известно, что шум может менять поведение системы качественным образом, причем параметры шума можно рассматривать в качестве

управляющих параметров системы. Возможность предвидеть вызванные шумом эффекты и управлять поведением активной среды с помощью вариации параметров шума может иметь важное практическое значение. Интересен и вопрос об отличительных особенностях поведения автоколебательных и возбудимых сред. Известно, что при определенных условиях, в детерминированных возбудимых средах могут возникать незатухающие колебания. Примерами могут служить спиральные волны и бегущие волны возбуждения в среде с периодическими граничными условиями. Вопрос о том, можно ли отличить эти режимы от аналогичных режимов автоколебательной среды на основании экспериментальных наблюдений, практически важен для понимания и моделирования явлений в реальных активных распределенных системах и средах (например, в нейродинамике). В диссертационной работе исследуется динамика двух моделей активных сред, описанных в первой главе, в присутствии источника нормированного гауссова белого шума. Для обеих сред демонстрируется разрушение бегущих волн внешним шумовым воздействием в форме подавления пространственно неоднородных мод, начиная с более коротковолновых мод. Для среды, составленной из осцилляторов ФитцХью – Нагумо, показывается разница в поведении характеристик волновых мод в автоколебательном и возбудимом режиме при вариации интенсивности шумового воздействия. Предлагается использовать выявленные различия для диагностирования типа элементарной ячейки активной среды.

*В третьей главе* диссертации рассматриваются особенности вынужденной синхронизации волновых мод внешним локальным гармоническим воздействием в средах с периодическими граничными условиями, описанных в первой главе. Для среды из элементов ФитцХью – Нагумо вводится аналог в виде модели осциллятора ФитцХью – Нагумо с запаздывающей обратной связью. Показывается качественное соответствие результатов, полученных для среды, результатам, полученным для модели с запаздывающей обратной связью.

В работе получен ряд новых научных результатов, среди которых отметим следующие:

Установлены бифуркационные механизмы удвоения периода волновых мод через возникновение и эволюцию квазипериодических колебаний.

Показано, что в непрерывной среде усложнение формы пространственного профиля волн с ростом параметра нелинейности, проявляющееся в возникновении всё более мелкомасштабных осцилляций, может проходить в условиях неизменного характера колебаний во времени.

Установлены индуцированные шумом бифуркации связанности (обратные бифуркации удвоения) в непрерывной среде.

Обнаружен эффект синхронизации волн возбуждения в детерминированной возбудимой среде с периодическими граничными условиями при локальном внешнем периодическом воздействии и показаны различия эффектов синхронизации в возбудимой среде по сравнению с автоколебательной средой.

Выявлены качественные различия в поведении автоколебательной и возбудимой среды в режиме бегущих волн и показаны возможности диагностирования типа активной среды с помощью анализа зависимостей характеристик колебаний от параметров, а также по отклику среды на внешние регулярное и стохастическое воздействия.

По материалу диссертации можно сделать также ряд замечаний:

1. Задача построения модели среды из элементов со сложной динамикой достаточно проста и ее формулировка в виде отдельной задачи нецелесообразна.
2. Некоторые из цитируемых автором работ содержат исследование системы из 20 и даже 50 элементов, так что говорить о них как о системах с малым числом элементов некорректно. Целесообразно было более подробно осветить содержание этих работ.
3. В работе проводится сопоставление активной и возбудимой сред на двух эталонных примерах (системы ФитцХью-Нагумо и генераторы Анищенко-Астахова). При этом возникает вопрос об общности полученных выводов для целого класса активных и возбудимых систем, который недостаточно освещен.
4. Остается не вполне ясным, насколько систематически изучалась зависимость динамики от свойств шума во второй главе. Рассматривались два вида шума - дельта-коррелированный и пространственно-однородный. Один из видов шума применялся к одной системе для изучения процесса разрушения бегущих волн (п.2.2), а другой – к другой среде для изучения когерентного резонанса (п.2.3). Не ясно, как соотносятся эти результаты и какова итоговая зависимость от свойств шума.

Несмотря на сделанные замечания, диссертация А.В. Слепнева может быть охарактеризована как серьезное научное исследование, развивающее современные представления нелинейной теории колебаний и волн о динамике активных сред. Полученные в работе результаты полезны для разработки методов диагностирования характера активной среды на основании экспериментальных данных и для математического моделирования реальных активных сред. Они также могут применяться при разработке новых методов управления радиофизическими устройствами, основанными на использовании источников шума. Результаты работы могут быть использованы в организациях, занимающихся

исследованиями в области радиофизики и теории колебаний, а также в учебном процессе (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, ИПФ РАН, МГУ, СПбГУ, ННГУ, СГУ и т.д.).

Основные результаты по теме диссертации изложены в 14 печатных работах, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, монография, 2 статьи в сборниках трудов конференций и 6 работ в сборниках тезисов конференций. Основные результаты широко апробированы и доложены на конференциях различного уровня. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации. Содержание работы соответствует паспорту специальности 01.04.03 — «Радиофизика» в части, относящейся к исследованию нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных физических системах.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям пунктов 9–14, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года. Автор работы, Слепнев Андрей Вячеславович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика»

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Секции Ученого совета Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН в Саратовского филиале (протокол № 14 от 26 ноября 2014 года).

Ведущий научный сотрудник  
Саратовского филиала института  
радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,  
д.ф.-м.н., профессор



Кузнецов Александр Петрович

Ведущий научный сотрудник  
Саратовского филиала института  
радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,  
д.ф.-м.н., доцент



Смирнов Дмитрий Алексеевич

Почтовый адрес: 410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38  
Тел.: 8(8452)272401  
Электронная почта: info@soire.renet.ru