

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Слепнева Андрея Вячеславовича

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

представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 — радиопизика.

Автоколебательная система является канонической для радиопизики и поэтому системы такого типа изучены очень хорошо. Однако автоколебательные среды, в силу того, что являются значительно более сложными объектами, исследованы по-прежнему недостаточно полно. В тоже время детальное понимание характера динамики распределённых автоколебательных сред очень важно, так как они, наряду с сосредоточенными системами играют очень важную роль как в природе и в технике. *По этой причине тема диссертационной работы является актуальной.*

Автоколебательные среды в диссертации строятся посредством введения диффузионной связи между локальными ячейками двух типов: генератора с инерционной нелинейностью Анищенко—Астахова и осциллятора ФитцХью—Нагумо. Выбор первого обусловлен тем, что он обладает сложной собственной динамикой, в частности — демонстрирует фейгенбаумовский сценарий перехода к хаосу. Второй интересен тем, что в зависимости от значения управляющего параметра может демонстрировать как автоколебания, так и возбудимость.

Для сред на основе этих систем в диссертации получен ряд новых интересных результатов.

Активная среда с идентичными параметрами в каждой точке пространства и периодическими граничными условиям демонстрирует решения, обладающие той или иной формой однородности: полной (пространственно однородные колебания) или в среднем (бегущие волны, хаос). В этом смысле её можно рассматривать как вариант автоколебательной системы. Однако, очевидно, что должны быть и отличия от сосредото-

точных систем, обусловленные наличием пространственного взаимодействия между локальными ячейками. Для выявления этих отличий в диссертации рассматриваются среды в автономном режиме, в ситуации воздействия шума и при внешнем периодическом воздействии.

Среда, построенная из возбудимых элементов, может демонстрировать решения в виде бегущих волн, которые визуально неотличимы от волновых решений распределённой системы, построенной на основе автоколебательных систем. Тем не менее, так как механизмы, отвечающие за возникновение решений в таких системах существенно различны, возникает интересная задача выявления признаков, по которым можно было бы для реальной системы заключить, какого рода локальная динамика имеет место. Несомненной заслугой работы является выявление этих отличий. В частности, показано, что в автономном режиме у возбудимой системы, в отличие от автоколебательной, период колебаний существенным образом зависит как от параметра, управляющего локальной динамикой, так и от коэффициента диффузии. У автоволновой системы фазовые скорости решений с различными длинами волн существенно различны, тогда как в системе с возбудимыми локальными элементами фазовые скорости различных волновых решений практически одинаковы.

При наличии в системе шума также были выявлены отличия между возбудимым и автоколебательным режимами локальной ячейки среды. Шум вызывает переключение системы на другие волновые решения, что приводит к значительно более сильной зависимости периода колебаний от интенсивности шума в возбудимой среде по сравнению с автоколебательной. Однако это отличие в полной мере проявляется и может быть использовано для идентификации характера локального режима только при условии, что система находится достаточно далеко от точки бифуркации рождения волнового решения.

При наличии внешнего периодического воздействия наблюдается синхронизация как в случае автоколебательной так и в случае возбудимой локальной динамики. Однако имеют место существенные отличия: область синхронизации в возбудимой среде примерно на порядок уже чем для автоколебательной, кроме того размер области по разному зависит

от номера моды волнового решения, синхронизация которого изучается. В возбудимой она растёт с номером, а в автоколебательной убывает.

Так как генератор Анищенко—Астахова демонстрирует переход к хаосу по сценарию Фейгенбаума, то естественным шагом является изучение характера перехода к хаосу в среде, построенной из таких генераторов. В работе показано, что для решений в виде бегущих волн реализуется нефейгенбаумовский переход к хаосу. Хаос развивается уже после первого удвоения через возникновение и разрушение квазипериодических колебаний. Характерной чертой сценария формирования пространственно-временного хаоса, наблюдавшейся в диссертации, является развитие мелкомасштабных пространственных структур.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту, обоснованы достаточно хорошо и являются достоверными. Они логически следуют из проведённого в диссертации анализа и согласованы с результатами предыдущих исследований на эту тему. Проведённые исследования и полученные результаты являются новыми, они прошли апробацию на российских и международных конференциях и опубликованы в авторитетных реферируемых журналах, обсуждались на научных семинарах российских и зарубежных научных групп. Кроме того, по теме диссертации в соавторстве с научным руководителем опубликована монография. Полученные в диссертации результаты имеют высокую значимость как для фундаментальной науки, так и с практической точки зрения, так как развивают теоретическую базу необходимую для использования новых перспективных моделей, пригодных для изучения систем различной природы. Результаты работы могут быть использованы в организациях, занимающихся как разработкой и дополнением, так и практическим применением теории нелинейных процессов, например в ИРЭ РАН, ИПФ РАН, а также в учебном процессе при разработке курсов по динамике нелинейных систем и активных сред для студентов СГУ, СГТУ, МГУ, Н-НГУ, СпбГУ и других ВУЗов. Автореферат точно отражает содержание работы.

Замечания.

1. В диссертации больше внимание уделяется мультистабильности волновых решений, возникающей за счёт отбора решений граничными

условиями. Стандартный при исследованиях такого рода систем первый шаг анализа — построение дисперсионного уравнения и поиск пространственных гармоник, разрешённых граничными условиями и имеющих положительные показатели роста. Исходя из этого сразу стало бы ясно, сколько решений в принципе могут сосуществовать в системе. Следующий ожидаемый шаг — оценка бассейнов притяжения таких решений. К сожалению, в работе этого не сделано.

2. В диссертации акцент сделан на системах с непрерывным пространством. Так как при численном моделировании приходится иметь дело с дискретизацией пространства, требуется предпринимать специальные меры для того, чтобы обойти это ограничение. Обычно для этого исследуют так называемый «непрерывный предел»: наращивают число пространственных шагов N при уменьшении шага дискретизации, так что полная длина системы остаётся постоянной, и оценивают характер решения при $N \rightarrow \infty$. Также можно построить спектральное разложение и обсудить сходимость решения при увеличении количества учитываемых пространственных гармоник. По всей видимости такого рода анализ выполнялся при подготовке диссертации, однако об этом сказано очень коротко на стр. 35-37. Представятся важным каждый вывод о том, что тот или иной феномен проявляется вследствие пространственной непрерывности явным образом подкреплять соответствующим исследованием, чего нет в тексте.

3. В выводах к главе 1 на стр. 76 упомянуто, что переход к хаосу для однородного решения в системе автогенераторов Анищенко—Астахова происходит по фейгенбаумовскому сценарию. Однако в тексте работы этот сценарий не предъявлен. Более того, на стр. 57 со ссылкой на литературу сказано, что бассейн притяжения однородного решения должен уменьшаться с приближением к порогу хаоса, а также что в случае пространственно дискретной системы при увеличении числа пространственных элементов однородный режим теряет устойчивость раньше чем происходит переход к хаотической динамике. Фактически из это следует как раз невозможность наблюдать полный фейгенбаумовский каскад в пространственно однородной распределённой системе. Таким образом, вопрос о сценарии перехода однородного решения к хаосу

остался не исследован в достаточной мере.

4. Так как одной из задач диссертации является сравнение характеристик волновых решений, порождаемых системами с локальными автоколебательной и возбудимой динамиками, то было бы весьма желательно сопоставить также автоколебательные решения системы на основе осцилляторов ФитцХью—Нагумо с системой на основе автогенераторов Анищенко—Астахова. В этом случае можно было бы говорить о характеристиках решений, общих для разных сред на основе автогенераторов, отличающих их от сред, построенных из возбудимых элементов.

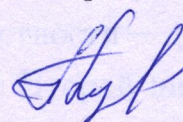
5. В разделе 2.1.1 на стр. 80 сказано, что далее будут рассматриваться пространственно однородный и пространственно некоррелированный шум. Из приведённых ниже формул также следует, что шум включен в каждой точке пространства, а исследование локализованного шума в тексте главы не приводится. Однако в первом выводе к главе 2, стр. 101, говорится в том числе и про локализованный шум. Можно предположить, что здесь имеются ввиду результаты других исследователей, с которыми согласуются представленные в диссертации материалы. Однако такую форму изложения нельзя признать удачной.

6. Чтобы идентифицировать разрешённые граничными условиями решения с разными длинами волн, в диссертации предложено присваивать пространственно-распределённому решению номер n , равный набегу фазы на длине системы, нормированному на 2π . В принципе, этот критерий доказал свою полезность и эффективность, однако, два аспекта его использования требуют более тщательной проработки. *Во-первых*, не всегда номер n достаточно адекватно характеризует решение, как в случае на рис. 1.13. Здесь решение имеет достаточно короткую длину волны, но за счёт двух смен направления распространения волны, полный набег фазы соответствует $n = 1$. Принимая во внимание подобные ситуации, вместе с n полезно было бы ввести ещё одно характеристическое число, связанное с преобладающей длиной волны решения. *Во-вторых*, перед тем как вычислять n для хаотических решений, требуется предварительно убедиться, что фаза для них хорошо определена, что не так в общем случае.

Указанные недостатки, однако, не снижают впечатления о работе,

которая свидетельствует о высокой квалификации автора. В диссертационной работе Слепнева А. В. содержится *новое решение актуальной научной задачи* радиофизики. Она представляет собой *законченное исследование*, выполненное автором самостоятельно. Диссертация Слепнева А. В. *удовлетворяет критериям* п. 9—14, установленными «Положением о присуждении ученых степеней» в редакции Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 для кандидатских диссертаций и соответствует специальности 01.04.03 — радиофизика. Ее автор, Слепнев Андрей Вячеславович, *заслуживает присуждения* ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

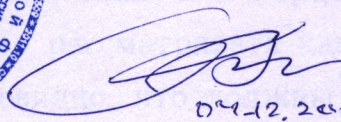
Профессор кафедры «Приборостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» (Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, Эл. почта: p.kuptsov@rambler.ru, Телефон: 8452-99-88-14), д. ф.-м. н., доцент

 04.12.2014

Купцов Павел Владимирович

Подпись П. В. Купцова заверяю, Учёный секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», д. т. н., проф.




04.12.2014.

Бочкарев Петр Юрьевич