

# ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

*Чернышова Николая Юрьевича*

«СИНХРОНИЗАЦИЯ РЕАКТИВНО СВЯЗАННЫХ  
ОСЦИЛЛЯТОРОВ ВАН ДЕР ПОЛЯ»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.03 — радиофизика.

Значительное число представляющих практический интерес физических систем нельзя описать при помощи динамических моделей с низкой размерностью фазового пространства. Зачастую в качестве моделей выступают конструкции, построенные как из строительных элементов из простых низкоразмерных систем, между которыми организованы разного вида связи. Это значит что одной из важнейших задач радиофизики на сегодняшний день является создание детального каталога поведения таких моделей. На примере простых низкоразмерных систем достаточно хорошо изучены канонические режимы и их бифуркации: периодическое, квазипериодическое и хаотическое поведение; бифуркации рождения перекрывающегося цикла и перехода к квазипериодичности и хаосу; синхронизации регулярных и хаотических колебаний и т. п. При очень большом числе взаимодействующих систем возникает новая специфика, новая «волновая» феноменология и появляется возможность применить непрерывное приближение. Сегодня в этой области достигнут значительный прогресс в части исследований стационарных и автоволновых структур, пространственно-временного хаоса. Наряду с крайними случаями очень высокой и очень низкой размерности, большой интерес представляют относящиеся к промежуточной ситуации задачи о небольших ансамблях связанных систем. Их специфика в том, что с одной стороны сохраняется возможность применения традиционного формализма теорий динамических си-

стем, бифуркаций и катастроф, а с другой размерности пространства параметров и фазового пространства уже достаточно высоки что значительно увеличивает трудоёмкость исследований. С этой точки зрения такие системы оказываются наиболее сложными и на сегодняшний день они исследованы достаточно мало. Поэтому тема диссертации, которая посвящена исследованию низкоразмерных ансамблей осцилляторов ван дер Поля имеет высокую актуальность.

В диссертации, с опорой на традиционный формализм теорий динамических систем и бифуркаций, детально исследуются системы двух и трёх осцилляторов ван дер Поля под внешним периодическим воздействием. Работа представляет собой теоретическое исследование, выполненное с применением численных и аналитических методов. Выбор в качестве парциального элемента именно осциллятора ван дер Поля представляется оправданным. Математическая модель этого осциллятора достаточно проста, очень хорошо изучена и при этом соответствует реальной физической системе. Связи между подсистемами также допускают физическую реализацию, что отдельно обсуждается в диссертации. Это означает, что результаты полученные в диссертации очевидным образом могут быть проверены экспериментально, и имеется возможность практической реализации обнаруженных динамических эффектов.

В диссертации рассмотрены четыре различных низкоразмерных ансамбля осцилляторов ван дер Поля, включающих в себя: два осциллятора, возбуждаемые внешним сигналом; три осциллятора, связанные в цепочку; цепочку из трёх осцилляторов под внешним воздействием; три осциллятора, связанные в форме кольца. Во всех четырёх случаях связь между осцилляторами имеет консервативный характер (так называемая реактивная связь). Выбор характера связи оправдан тем, что этот случай сравнительно мало изучен в литературе и, при этом, как показано в диссертации, наличие такого вида связи порождает очень богатую и сложную

феноменологию.

К числу достоинств работы следует отнести систематичность и единообразие применяемых исследовательских подходов. Для каждого из изучаемых ансамблей строится фазовое приближение. Для фазовых уравнений и для исходной системы строятся карты бифуркаций, плоскости чисел вращения, карты ляпуновских показателей, фазовые плоскости. Все они подробно анализируются и сопоставляются. В конце каждой главы полученные результаты кратко резюмируются.

Важный результат работы — хорошо проработанный метод построения нетривиального фазового приближения для ансамблей осцилляторов ван дер Поля с реактивной связью. Как обсуждается в диссертации, нетривиальным моментом является то, что при построении фазового приближения недостаточно только первого порядка малости и нужно корректно учитывать члены второго порядка. Для каждого из исследуемых ансамблей представлен подробный вывод этих уравнений.

Широко применяемое в диссертации фазовое приближение учитывает динамику только фаз осцилляторов и в силу этого сами по себе результаты полученные для фазовых уравнений имели бы по большей части чисто математическую значимость без возможности привязки к результатам экспериментов. Поэтому существенно, что результаты, полученные для фазовой модели в диссертации аккуратно сопоставляются с результатами для исходных уравнений. Показано, что существуют диапазоны параметров, для которых фазовая модель оказывается адекватной не только качественно, но и в значительной степени количественно.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы в достаточной мере и достоверны. Они получены с применением хорошо обоснованных аналитических методов и современных программных библиотек. Выполненные исследования и результаты, к которым они привели, являются новыми, они прошли апро-

бацию на российских и международных конференциях. Следует отметить также большое количество публикаций в авторитетных российских и международных журналах. Представленные в диссертации результаты имеют высокую значимость. Результаты работы могут быть использованы в работе научных групп, занимающихся радиофизикой, в работе таких организаций как ИРЭ РАН, СГУ, СГТУ, а также в учебном процессе. Автореферат точно отражает содержание работы.

#### Замечания.

1. В работе показано, что возможен захват внешней гармонической силой осциллятора, на который это воздействие не оказывается непосредственно. Об этом упоминается во втором положении, выносимом на защиту. Фактически это проявление очень интересного эффекта синхронизации через посредника (remote synchronization), о котором впервые сообщается в статье A. Bergner и др. [Phys. Rev. E 85, 026208 (2012)]. В отличие от упомянутой работы, в диссертации синхронизация через посредника наблюдается для более простой системы и, вероятно, уделив ему больше внимания можно было бы получить новые перспективные результаты.

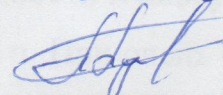
2. Вывод формул фазового приближения в первой главе содержит опечатку. В формуле (1.7) появляется слагаемое  $i(1 - f^2)/f$  которое отсутствует в предыдущей формуле (1.6). Надо, однако, отметить, что это именно опечатка, что видно из сопоставления этих формул с аналогичными формулами вывода фазового приближения в других главах.

3. Оформление работы местами выполнено не достаточно аккуратно. Например, обозначения одних и тех же функций, в частности синуса, местами набрано курсивом, местами прямым шрифтом. На странице 47 и далее по тексту многократно упоминается фазовые плоскости  $(x, x)$  и  $(y, y)$ , хотя подразумеваются  $(x, x')$  и  $(y, y')$ , соответственно. В формуле (2.5) в пределах одной формулы использованы два разных символа для

обозначения мнимой единицы.

Указанные недостатки не снижают впечатления о работе, которая свидетельствует о высокой квалификации автора. В диссертационной работе Чернышова Н. Ю. содержится новое решение актуальной научной задачи радиофизики. Она представляет собой законченное исследование, выполненное автором самостоятельно. Диссертация Чернышова Н. Ю. удовлетворяет критериям, установленными «Положением о присуждении ученых степеней» и соответствует специальности 01.04.03 — радиофизика. Ее автор, Чернышов Николай Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

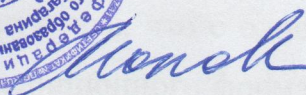
Профессор кафедры «Приборостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» (Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, Эл. почта: r.kuptsov@sstu.ru, Телефон: 8452-99-88-14),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

15.01.2018  


Купцов Павел Владимирович

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





Малова Наталия Анатольевна