

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕТА

на диссертационную работу Решетовой Ольги Олеговны «Динамические режимы моделей осцилляторов с гистерезисными нелинейностями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18– математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность

Осциллятор Ван-дер-Поля является одной из важных моделей нелинейной динамики. Автоколебательные системы, поведение которых моделируется при помощи уравнения Ван-дер-Поля, встречаются в различных областях в радиотехнике, приложениях в робототехнике, медицине. Посредством модели связанных осцилляторов Ван-дер-Поля проводится анализ таких сложных систем, как тропические циклоны (где было использовано свойство осцилляторов генерировать автоколебательные режимы). Также они используются при описании ионизационных волн и в широком спектре задач, связанных с моделированием процессов, протекающих в человеческом организме. Отметим, что система связанных осцилляторов Ван-дер-Поля является эталоном для реализации различных режимов синхронизации. Поэтому, новые результаты в области исследования динамики связанных осцилляторов Ван-дер-Поля востребованы и важны для развития методов математического моделирования.

При рассмотрении динамических режимов моделей осцилляторов, одна из естественных задач связана с возможностью регуляризации хаотических решений. Один из перспективных методов управления хаотической динамикой основан на использовании гистерезисных преобразователей в контуре управления (гистерезисные преобразователи на каждом такте колебаний поглощают энергию, пропорциональную площади петли). Первым шагом, в реализации задачи управления является идентификация характера динамических режимов. На сегодняшний день основные методы

идентификации динамических режимов связаны с вычислением показателей Ляпунова. Однако, существующие методы применимы лишь в случае гладкости правых частей соответствующих уравнений. В системах с гистерезисными нелинейностями вычисление ляпуновских показателей при помощи классических методов и вовсе затруднено. Таким образом, задача разработки аналитических и численных методов, позволяющих исследовать динамические режимы моделей осцилляторов с гистерезисными нелинейностями, является актуальной и важной, поскольку расширяет арсенал методов исследования моделей реальных технических систем.

Научная новизна

В работе получен ряд новых результатов, из которых отмечу следующие:

Для класса модифицированных моделей осциллятора Ван-дер-Поля, отличительной особенностью которых является наличие гистерезисных блоков, с применением численных методов идентифицированы динамические режимы.

Разработан метод для синхронизации систем осцилляторов Ван-дер-Поля в условиях гистерезисного воздействия, с помощью которого реализуется заданный динамический режим.

Разработан комплекс программ, позволяющий организовать вычислительный эксперимент и реализовать математические модели колебательных систем, описанных в исследовании, а именно систем осцилляторов Ван-дер-Поля с гистерезисными нелинейностями.

Эти результаты, в совокупности, представляют собой набор инструментальных методов решения задач стабилизации неустойчивых систем (как с сосредоточенными, так и распределенными параметрами) в окрестности желаемого режима динамики. Основные результаты, представленные в работе, в полной мере соответствуют паспорту специальности 05.13.18.

Теоретическая и практическая значимость

В целом, работа носит теоретико-прикладной характер, поскольку основные ее результаты связаны с исследованием моделей реальных физических систем, которые, в свою очередь, лежат в основе важных

теоретических исследований. Для прикладных задач важны разработанные методы регуляризации хаотических систем, являющиеся основой для программно-аппаратной реализации устойчивого функционирования различных технических систем с гистерезисными связями в контуре управления. Также, именно в прикладных областях может оказаться востребован алгоритм синхронизации систем связанных модифицированных осцилляторов Ван-дер-Поля с гистерезисными звеньями, поскольку указанные модели встречаются во многих естественнонаучных областях. Также может оказаться полезен предложенный автором модифицированный алгоритм вычисления ляпуновских показателей при анализе систем с негладкими и гистерезисными нелинейностями.

Общая характеристика

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. По теме диссертации своевременно опубликовано 27 печатных работ, одна из которых из списка, рекомендованного ВАК, восемь работ проиндексированы в SCOPUS, разработан комплекс программ, предназначенный для моделирования динамики модифицированных осцилляторов Ван-дер-Поля. Автореферат, в целом, правильно и полно отражает содержание диссертации.

Во введении сформулированы цель и задачи исследования, подробно обоснована актуальность темы исследования, а также приведена информация об апробации работы.

Первая глава является дополнением вводной части: она посвящена обзору литературы, а именно, в ней приведены основные результаты, полученные при изучении осциллятора Ван-дер-Поля, а также систем связанных осцилляторов. Также дано подробное описание математических моделей гистерезиса, используемых в работе. Описаны два основных подхода: операторный, на примере неидеального реле и преобразователя ПреЙзаха. А также феноменологический подход, представленный посредством модели Боука-Вена.

Во второй главе проведено аналитическое и численное исследование моделей гармонического осциллятора, находящегося под воздействием

внешней гистерезисной силы, посредством модификации классического метода малого параметра. Сформулирована и доказана теорема, позволяющая описать одно из свойств подобных систем, а именно неограниченность решения, при удовлетворении заданным начальным условиям. Также в главе рассмотрен вопрос о синхронизации в подобных системах и установлены интервалы параметров, идентифицирующие области захвата частоты.

Основное внимание в исследовании уделяется изучению различных модификаций осциллятора Ван-дер-Поля, который является одной из основных моделей нелинейной динамики. В третьей главе представлены различные модификации гистерезисно-связанных осцилляторов Ван-дер-Поля. Для получения аналитического решения в подобных нелинейных системах, предложен метод, основой, которого послужил асимптотический метод малого параметра. Также в главе предложен алгоритм синхронизации в системах гистерезисно-связанных осцилляторов. Также в главе предложен алгоритм вычисления ляпуновских показателей, для систем с гистерезисными нелинейностями, посредством которого происходит определение динамических режимов рассматриваемых систем.

При рассмотрении различных модифицированных моделей осциллятора Ван-дер-Поля была выявлена особенность, а именно, включение гистерезисного блока в левую часть уравнения, позволило выявить хаотическое поведение в системе без внешнего воздействия. Для изучения динамики предложенной модели используются численные методы, с использованием метода малого параметра были получены приближенные аналитические решения при условии наличия и отсутствия вынуждающей силы.

Пятая глава описывает программную реализацию методов и алгоритмов, используемых в исследовании, а именно: приводится реализация алгоритма вычисления решения дифференциальных уравнений с гистерезисной нелинейностью формализованной феноменологической моделью Боука-Вена, а также реализация численного решения для математической модели осциллятора Ван-дер-Поля с операторной нелинейностью.

В целом работа выполнена на высоком научном уровне, с преобладанием математических методов исследования, использованием современной техники математического моделирования, численных методов, нелинейного анализа, качественной теории дифференциальных уравнений. Основные положения работы аккуратно и полностью доказаны. Теоретические выкладки в должной степени проиллюстрированы результатами вычислительных экспериментов.

Замечания

В заключении отмечу недостатки:

1. В 3 и 4 главах автор совершенно справедливо указывает на регуляризирующую роль гистерезисного звена в системах связанных осцилляторов Ван-дер-Поля, в частности сужаются интервалы (в пространстве параметров) хаотической динамики, однако, аналитически этот результат остался необъясненным (автор ограничился лишь констатацией факта на основе численных экспериментов).
2. На странице 67 говорится о двух управляющих параметрах, на самом деле таковой один в силу приведенной там же функциональной связи.
3. В третьей главе при использовании метода малого параметра необходимо было четко оговорить все сделанные предположения: в частности, слова «медленно меняющаяся фаза...» отнюдь не означает пренебрежимую малость ее второй производно).
4. Оформление работы оставляет желать лучшего, некоторое количество опечаток и не до конца выверенных ссылок на литературные источники затрудняет ее чтение.

Перечисленные недостатки носят скорее редакционный характер и не влияют на общую положительную оценку работы, выполненную на актуальную тему. В работе получены новые научные результаты важные с теоретической и прикладной точек зрения.

Заключительная оценка работы

Диссертационная работа Решетовой Ольги Олеговны представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую

решение актуальной *научной задачи* анализа колебательных систем (на примере гармонического осциллятора и систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями с точки зрения решения задач синхронизации, регуляризации и управления хаотических режимов, а также стабилизации и управления. Работа удовлетворяет требованиям Положения (в редакции, утвержденной правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) "О порядке присуждения ученых степеней", к кандидатским диссертациям, а её автор, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор



С.Г.Тихомиров

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»,

394036 , г. Воронеж, пр. Революции, д. 19

Телефон +79805555554;

E-mail: tikhomirov_57@mail.ru

