

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Соловьева Андрея Михайловича «Модели динамики неустойчивых механических и нейронных систем с гистерезисными связями», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18– математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации

В различных прикладных задачах модели носителей гистерезиса формализуются либо в операторной форме (конструктивные модели Ишлинского, Прейсаха), посредством соотношений вход-состояние и состояние-выход, либо системой дифференциальных уравнений (феноменологические модели, из которых наиболее популярной является модель Боука – Вена) с существенно нелинейной, не гладкой правой частью. В обоих случаях гистерезисные свойства отдельных звеньев динамических систем, существенно осложняют исследование их поведения. Трудности связаны в первую очередь с рядом специфических особенностей моделей гистерезисных нелинейностей – не гладкостью операторов, их описывающих, сложной нелинейной структурой пространства состояний гистерезисных преобразователей. Среди множества задач, где возникают гистерезисные нелинейности, особую роль играют задачи связанные со стабилизацией систем в окрестности неустойчивых положений равновесия. В случае, когда рассматривается задача с сосредоточенными параметрами, ее модель сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с операторными нелинейностями в правой части. Существенно более сложными являются задачи стабилизации неустойчивых систем с распределенными параметрами. К настоящему времени практически отсутствуют готовые методы их решения. В этой связи, решение задачи стабилизации гибкого маятника в окрестности неустойчивого положения равновесия посредством гистерезисного управления, представляется серьезным научным достижением, важным для теории и прикладных задач.

Также отмечу важность разработки на принципиально новых идеях демпфирующих устройств, поскольку они чрезвычайно востребованы в самых разнообразных инженерных областях. Процесс преобразования механической энергии в демпфирующих устройствах вполне может быть осуществлен «гистерезисным» образом. Поэтому задача анализа моделей гистерезисных демпферов является важной и современной. Известно, что нейронные сети представляют собой весьма удобный аппарат для решения трудно формализуемых задач большой размерности. При этом гистерезисные особенности функционирования биологических нейронов, как правило, игнорируются разработчиками искусственных нейронных сетей. Поэтому разработка нового класса нейронных сетей с гистерезисной функцией активации может стать основой нового аппарата для решения задач распознавания образов, сегментации изображений и других. Таким образом, тема диссертационной работы А.М. Соловьева представляется актуальной, имеющей важное значение для теории и практики.

Новизна исследований и полученных результатов

Основные положения диссертации, отличающиеся научной новизной, заключаются в следующем:

1. Исследована динамика и переходные процессы класса нейронных сетей с гистерезисной функцией активации, установлена повышенная помехоустойчивость по сравнению с традиционными нейросетями.

2. Разработан алгоритм стабилизации гибкого обратного маятника, основанный на принципах обратной связи и гистерезисного управления, в рамках этой задачи предложена оригинальная методика оптимизации по параметрам управления, в основе которой лежит алгоритм адаптивного поискового поведения анимата.

3. Исследована модель динамики демпфирующего устройства, основанного на гистерезисных свойствах материала Ишлинского, построены передаточные функции в координатах сила-ускорение и сила-смещение,

выявлены области в частотной области, где гистерезисный демпфер более эффективен по сравнению с демпфером с вязким трением.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов математического моделирования, теории дифференциальных уравнений, численных методов. Достоверность полученных результатов подтверждается также приведенными результатами компьютерных экспериментов, апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, и в опубликованных работах.

Теоретическая и практическая значимость

В работе одинаково значимыми являются как теоретическая, так и практическая части. К важным теоретическим результатам следует отнести решение задачи стабилизации систем с распределенными параметрами, управляемых гистерезисным преобразователем. В работе предложено несколько подходов к решению этой задачи, один из которых связан с редукцией исходного уравнения в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Этот подход вполне может найти применение в схожих задачах анализа динамики систем с распределенными параметрами при наличии гистерезисных связей. Также, отмечу разработанную методику анализа демпфирующих устройств, основанных на гистерезисных свойствах упругопластических материалов и теоретический анализ переходных процессов и динамики нейронных систем с гистерезисными функциями активации.

Отмеченные выше результаты имеют очевидные приложения. Проблема стабилизации неустойчивых режимов, на сегодняшний день, одна из важнейших задач робототехники, химической и пищевой

промышленности, ядерной физики. Поэтому новые инструменты и методики в означенной области вполне востребованы в инженерных приложениях. Демпфирующие устройства широко применяются в автомобилестроении, строительстве зданий в сейсмически активных районах, медицинской технике и многих других областях. Как было показано в работе, гистерезисные демпферы вполне работоспособны и могут составить конкуренцию традиционным, основанным на вязких свойствах, и, как следствие, найти применение в упомянутых выше областях.

Замечания по диссертационной работе

1. В качестве гистерезисной функции активации отдельных нейронов автор использует S-преобразователь с фиксированными параметрами, как следствие, не исследованы свойства нейросети в зависимости от этих параметров, также полезно было бы рассмотреть иные гистерезисные виды функции активации, например на основе модели Боука-Вена.

2. При решении задачи стабилизации гибкого маятника остался не изученным важный и интересный вопрос об идентификации множества начальных условий в фазовом пространстве, допускающих стабилизацию при заданных растворе люфта и ограничении на управляющее воздействие.

3. При реализации метода кусочно-линейной аппроксимации в задаче стабилизации гибкого маятника автор не приводит количественных оценок шага по пространственной переменной, обеспечивающих устойчивость приближенной системы.

Общая характеристика диссертационной работы

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно- квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с исследованием механических систем и нейронных сетей с гистерезисными свойствами.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на большом количестве профильных международных конференций, опубликованы в 18 научных трудах (три из которых из перечня ВАК, пять работ индексируются в базе SCOPUS). Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения (в редакции, утвержденной правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор, Соловьев Андрей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент, зав. кафедрой
дифференциальных уравнений и теории управления
ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет имени
академика С.П. Королева»,
д.ф.-м.н., профессор

Соболев Владимир Андреевич

29 июня 2017 г.

Подпись <u>Соболева В.А.</u> удостоверение
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета
<u>В.А. Васильева</u> Васильева
<u>29 июня 2017 г.</u>



Почтовый адрес: 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, д. 34

Телефон: +7(846) 334-54-38

Адрес электронной почты: hsablem@gmail.com