

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по учебной работе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»

доктор технических наук, профессор




_____ В.И. Шипулин

«12» _____ июля 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» – на диссертационную работу Соловьёва Андрея Михайловича на тему: «Модели динамики неустойчивых механических и нейронных систем с гистерезисными связями», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы исследования

Нелинейные зависимости гистерезисной природы довольно часто возникают в различных естественнонаучных областях. При этом носители гистерезисных явлений, как правило, рассматриваются не изолированно, а в составе сложных систем (например, такая ситуация возникает в системах автоматического регулирования, обратная связь которых включает гистерезисное звено). Формальное описание динамики таких систем обычно представляется в виде операторно-дифференциальных уравнений, правые части которых включают нелинейности, порождённые операторами гистерезисного типа. Такие системы имеют ряд специфических особенностей: негладкость гистерезисных операторов, «необычность» фазовых пространств систем, включающих пространства состояний соответствующих гистерезисных нелинейностей, в общем случае не обладающих линейной структурой и др.

Задачи оптимизации функционирования, стабилизации и синхронизации сложных систем, содержащих гистерезисные звенья, составляют в настоящее время особый класс. Методы решения этих задач разработаны недостаточно и им посвящено немного работ. Также в моделях нейронных сетей не получили должного освещения гистерезисные свойства биологических нейронов, хотя в нейрофизиологии доказана их важная роль в функционировании нервной системы человека. В связи с этим тема диссертации представляется важной и актуальной.

Общая характеристика работы

Основной целью работы является исследование динамики механических систем и искусственных нейронных сетей с гистерезисными связями. В диссертации используется операторная трактовка гистерезисных нелинейностей обобщенного люфта, упора, S -преобразователя, преобразователей Прейсаха и Ишлинского.

Автором проводится исследование однослойной и двухслойной искусственных нейронных сетей с гистерезисной функцией активации нейронов. Гистерезисная нелинейность функции активации описывается с помощью S -преобразователя и модели Прейсаха. Предлагается методика построения нейроконтроллера на основе искусственной нейронной сети с гистерезисом для создания системы управления неустойчивыми объектами и описывается алгоритм его функционирования и адаптивного обучения.

В работе рассматривается математическая модель стабилизации обратного гибкого маятника, шарнирно закрепленного на цилиндре, движение которого вызывается горизонтальным перемещением поршня. Задача стабилизации заключается в выборе такого закона движения поршня, при котором фазовые координаты, описывающие положение маятника, остаются в ограниченной области нулевой точки. Разработан алгоритм стабилизации маятника в окрестности вертикального положения, а также

предложен метод оптимизации по параметрам управляющего воздействия на основе анимат-подхода.

Еще один важный результат диссертации связан с анализом математической модели механической системы с вынужденными колебаниями и демпфирующим звеном на основе вязкого и гистерезисного демпферов. Вибрационный гистерезисный демпфер описывается с помощью преобразователя Ишлинского. В работе проводится исследование динамики такой механической системы в терминах передаточных функций «сила-смещение» и выполняется сравнительный анализ вязкого и гистерезисного демпфирования.

Научная новизна исследований и полученных результатов

В работе лично автором получен ряд новых научных результатов, позволяющих классифицировать её как законченное научное исследование:

а) в области математического моделирования:

1) разработаны принципы построения однослойной и двухслойной искусственных нейронных сетей с гистерезисной функцией активации, предложены алгоритмы их обучения;

2) разработан алгоритм стабилизации обратного гибкого маятника с гистерезисным управлением, предложен метод оптимизации параметров управляющего воздействия на основе анимат-подхода;

3) проведено исследование математической модели гистерезисного вибрационного демпфера на основе материала Ишлинского;

4) проведено исследование переходных процессов отдельных нейронов искусственной нейронной сети с гистерезисом, установлены повышенная помехоустойчивость и наличие ассоциативной памяти для классов задач распознавания образов с помощью таких нейросетей;

б) в области численных методов:

5) разработаны разностные схемы, а также метод кусочно-линейной аппроксимации для проведения численного эксперимента;

б) разработаны численные алгоритмы для решения задачи стабилизации обратного гибкого маятника с гистерезисным управлением, предложены методы численной реализации бионического алгоритма оптимизации параметров управляющего воздействия;

7) проведено численное моделирование динамики гистерезисного демпфера колебаний на основе материала Ишлинского и выполнен сравнительный анализ вязкого и гистерезисного демпфирования;

в) в области разработки комплексов программ:

8) разработаны комплексы программ для проведения исследования функционирования искусственных нейронных сетей с гистерезисной функцией активации, для реализации алгоритмов стабилизации обратного гибкого маятника с гистерезисным управлением и программ для исследования динамики гистерезисного демпфера колебаний на основе материала Ишлинского.

Основные формально-логические утверждения диссертации доказаны с надлежащей полнотой с использованием современного математического аппарата нелинейного анализа, численных методов, качественной теории дифференциальных уравнений и операторной теории гистерезиса. Пункты 1) - 4) научной новизны соответствуют п. 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений» паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и п. 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», пункты 5) – 7) соответствуют п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента». Пункт 8) соответствует п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, вытекает из строгости предположений, положенных в основу разработанных математических моделей, проведенного тестирования соответствующих программных решений, а также практической реализации предлагаемых методов и решений. Кроме того, полученные автором результаты прошли апробацию на многочисленных международных и национальных профильных конференциях, а также были использованы при выполнении проектов, поддержанных РФФИ.

Практическая значимость результатов работы для науки и производства

Результаты работы могут найти применение в области численного анализа систем, математические модели которых сводятся к системам дифференциальных уравнений с гистерезисными нелинейностями. Диссертационная работа содержит достаточное количество убедительных примеров из различных областей. Полученные в работе результаты в этом направлении, по сути, представляют собой готовую методику оптимизации класса систем с гистерезисными свойствами.

Отметим также, что учет гистерезисных особенностей в модели функционирования нейронов дает возможным образом приблизиться к биологическим данным. Известно, что до текущего момента человеческий мозг остается эталоном в решении множества сложных проблем распознавания и классификации объектов, поэтому анализ математической модели приближенной к биологическим данным позволяет улучшить результаты в решении различных прикладных задач. Предложенные в работе методы построения искусственных нейронных сетей с гистерезисной функцией активации могут найти техническое применение в системах компьютерного зрения, обработки аудио- и видеопотока.

Известно, что методы стабилизации верхнего положения обратного маятника нашли широкое применение в решении многих задач механики, электромеханики, поэтому учёт гистерезисных свойств в модели управляющего воздействия представляется полезным с практической точки зрения. Предложенный метод стабилизации обратного гибкого маятника с гистерезисным управлением, а также метод оптимизации параметров управляющего воздействия могут послужить основой для программно-аппаратной реализации устойчивого функционирования различных механических систем с гистерезисными связями, а результаты в области исследования динамики гистерезисного демпфера колебаний на основе материала Ишлинского могут стать основой для создания эффективных демпфирующих устройств, которые, в свою очередь, могут найти применение при строительстве зданий в сейсмически активных районах, автомобилестроении, тяжелой промышленности.

Рекомендации по применению результатов

Результаты диссертационной работы А.М. Соловьёва рекомендованы к внедрению в научных и практических исследованиях ИТМиВТ РАН, ИПУ РАН, ИППИ РАН, а также в учебной и научной работе Воронежского и Самарского государственных университетов, Воронежского государственного университета инженерных технологий и Северо-Кавказского федерального университета.

Недостатки и замечания

К недостаткам и замечаниям работы можно отнести следующие:

1. В главе 2 подробно рассматриваются модели гистерезиса, используемые в процессе дальнейшего исследования, а именно S -преобразователь, преобразователь Преисаха, нелинейности типа «люфт» и «упор», материал Ишлинского, как наиболее подходящие для проведения исследования и численного эксперимента. Отметим, что этот список

следовало бы дополнить феноменологической моделью Боука-Вена, обладающей рядом важных преимуществ и являющейся достаточно популярной.

2. В пунктах 3.1 и 3.2 приводится методика обучения нейросетей с гистерезисной функцией активации, однако отсутствует анализ сходимости процесса обучения. Целесообразно было бы использовать анализ функции энергии для решения задачи определения глобального минимума на поверхности ошибок. Также интересным было бы исследование аттракторов системы и их бассейнов притяжения.

3. В пункте 4.1 на стр. 54 допущена неточность – указано, что переменная ρ – плотность материала стержня. Следует заметить, что ρ в контексте дальнейшего исследования является *линейной* плотностью, что следует из равенства $\rho l = m$, приведенном на стр. 56. Также на стр. 54, под рис. 4.1 среди прочих указана переменная I – осевой момент инерции сечения стержня. Целесообразно было бы разъяснить эту переменную позже, в месте ее первого упоминания, на стр. 55 после равенства 4.3.

4. В пункте 4.1.1 в равенстве 4.23 и в дальнейшем, где используется это уравнение, вместо $\int_0^l f(t) dx$ следует писать $lf(t)$.

5. В пункте 4.2.1 на стр. 67 указано, что сила F пересчитывается на каждом новом интервале T . Следовало бы разъяснить, по каким критериям выбирается эта величина.

Вместе с тем указанные недостатки и замечания не снижают высокого квалификационного уровня диссертационной работы.

Публикации автора по теме диссертации

По материалам диссертации опубликовано 18 печатных работ в форме статей, тезисов и докладов. Из них 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и 5 работ в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus.

ВЫВОД

Диссертационная работа Соловьёва Андрея Михайловича на тему: «Модели динамики неустойчивых механических и нейронных систем с гистерезисными связями» представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи обеспечения эффективного функционирования сложных систем с гистерезисными свойствами на основе разработанного автором формально-математического аппарата. Работа имеет теоретико-прикладной характер, направлена на совершенствование реальных механических систем и нейронных сетей, удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» к кандидатским диссертациям, а её автор, Соловьёв Андрей Михайлович, заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой информационных систем и технологий Дроздовой Викторией Игоревной.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры информационных систем и технологий 30 июня 2017 года, протокол №13.

Присутствовало на заседании 22 чел. В обсуждении приняли участие 4 чел. Результаты голосования: «за» - 22 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Заведующий кафедрой

информационных систем и технологий,

доктор физико-математических наук,

профессор

В.И. Дроздова



ГРЕЧУХО Е.В.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Тел.: +7(8652)95-68-08, 95-69-32
Официальный сайт: www.ncfu.ru;
e-mail: info@ncfu.ru