



УТВЕРЖДАЮ
проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический университет»,
д.т.н., профессор
Д.Ю. Муромцев
«15» апреля 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» 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 темы исследования

Современные модели технических, биологических, экономических и других систем в подавляющем большинстве описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений, которые, в зависимости от их параметров, описывают сложные режимы динамики. Одно из интенсивно развивающихся в последнее время направлений математического моделирования связано с изучением и стабилизацией хаотических режимов. Известно, что система осцилляторов Ван-дер-Поля под воздействием внешней гармонической силы, способна демонстрировать различные динамические режимы (периодический, почти периодический, хаотический). Управление такого рода системами традиционно опиралось на классические методы (принцип обратной связи, параметрический и др.). Одно из перспективных направлений управления хаотической динамикой связано с использованием гистерезисных блоков. Этот подход основан на диссипирующем свойстве гистерезисных звеньев: при обходе петли гистерезиса против часовой стрелки, гистерезисное звено удаляет из системы энергию пропорциональную площади петли. В этой связи представляется важным, с точки зрения математического моделирования, вопрос о возможности регуляризации хаотических движений посредством гистерезисных преобразователей.

Первым шагом в реализации задачи управления является идентификация динамических режимов. На сегодняшний день основные методы идентификации динамических режимов связаны с вычислением показателей Ляпунова. Однако, существующие на сегодняшний день методы применимы лишь в случае гладкости правых частей соответствующих уравнений. В подавляющем числе публикаций, где показатели Ляпунова вычислялись для систем с недифференцируемыми правыми частями, происходила их предварительная аппроксимация гладкими функциями. При этом вопрос о корректности такой замены оставался открытым. В системах с гистерезисными нелинейностями вычисление классическими методами ляпуновских показателей и вовсе затруднено. Таким образом, разработка приближенных методов показателей Ляпунова в системах,

содержащих модели гистерезисных блоков реальных технических систем является важной и актуальной.

Общая характеристика работы

По теме диссертации опубликовано 27 работ, из которых 1 – в журнале из списка ВАК РФ; 8 – в изданиях, индексируемых в наукометрической базе SCOPUS, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 110 наименований. Общий объем диссертации составляет 121 страницу.

Научная задача работы состоит в анализе колебательных систем (на примере гармонического осциллятора и систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями с точки зрения решения задач синхронизации, регуляризации и управления хаотическими режимами. При этом цель работы заключается в разработке методов идентификации динамических режимов математических моделей колебательных систем (гармонического осциллятора и систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями.

Во введении приведена общая характеристика работы, обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, дана информация о научной новизне и практической значимости работы, приводится подробный обзор результатов, связанных с темой исследования.

В первой главе проводится обзор литературы, посвященной тематике исследования. Подробно рассматриваются математические модели гистерезиса в рамках двух подходов: операторного (на примере неидеального реле и преобразователя Преизаха), и феноменологического – представленного моделью Боука-Вена.

Во второй главе рассматриваются модифицированные математические модели гармонического осциллятора с гистерезисным звеном; описываются динамические особенности таких систем и исследуется вопрос о синхронизации посредством применения классического метода малого параметра.

Третья глава посвящена различным математическим моделям гистерезисно-связанных осцилляторов Ван-дер-Поля, для которых предложен метод, позволяющий получить аналитическое решение системы, а также решить вопрос о синхронизации осцилляторов, как внешней, так и внутренней. Особое внимание уделяется рассмотрению различных динамических режимов осциллятора Ван-дер-Поля в условиях периодического воздействия и при наличии гистерезисного блока в контуре обратной связи. Также в главе описывается алгоритм, позволяющий реализовать вычислительный эксперимент для установления динамических режимов в системе связанных осцилляторов Ван-дер-Поля, основанный на модифицированном методе вычисления ляпуновских показателей.

В четвертой главе выполняется построение модифицированной математической модели осциллятора Ван-дер-Поля с гистерезисным блоком. Посредством компьютерного моделирования исследуется динамика предложенной модели и выполняется сравнительный анализ с результатами, полученными для классического осциллятора Ван-дер-Поля. С использованием метода малого параметра были получены приближенные аналитические решения для описанной модели, при условии наличия и отсутствия вынуждающей силы.

Пятая глава носит прикладной характер и посвящена программной реализации предложенных алгоритмов. А именно, приводится реализация

алгоритма решения дифференциальных уравнений с гистерезисной нелинейностью модели Боука-Вена, а также реализация численного решения для математической модели осциллятора Ван-дер-Поля с операторной нелинейностью.

Научная новизна исследований и полученных результатов

В работе лично автором получен ряд новых научных результатов, позволяющих классифицировать её как законченное научное исследование, соответствующее паспорту специальности 05.13.18:

а) в области математического моделирования:

1. Предложены модифицированные математические модели колебательных систем, построенные на основе математической модели осциллятора Ван-дер-Поля, отличительной особенностью которых является наличие гистерезисных нелинейностей.
2. Идентифицированы динамические режимы математических моделей колебательных систем с гистерезисными нелинейностями.

б) В области численных методов:

3. Разработан метод синхронизации для систем осцилляторов Ван-дер-Поля в условиях гистерезисного воздействия, позволяющий реализовать заданный динамический режим – хаотический, периодический, квазипериодический, и отличающийся от всех существующих.
4. Разработан алгоритм численной реализации для вычисления показателей Ляпунова в системах с гистерезисными нелинейностями.

в) В области разработки комплексов программ:

5. Разработан комплекс программ для организации вычислительного эксперимента и реализации математических моделей колебательных систем (систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями.

Комплекс программ представляет собой инструмент численного анализа колебательных систем с гистерезисными нелинейностями.

Основные формально-логические утверждения диссертации доказаны с надлежащей полнотой с использованием современного математического аппарата нелинейного анализа, численных методов, методов бифуркационного анализа, качественной теории дифференциальных уравнений и с использованием феноменологической и операторной трактовки гистерезисных преобразователей. Все защищаемые положения проиллюстрированы достаточным количеством вычислительных экспериментов. Пункты 1), 2) 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», пункты 3), 4) соответствуют п. 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей, пункт 5) соответствует п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, вытекает из строгости предположений, положенных в основу разработанных математических моделей, проведенного

тестирования соответствующих программных решений, а так же практической реализации предлагаемых методов и решений. Кроме того, следует отметить, что полученные автором результаты прошли апробацию на международных и национальных профильных конференциях.

Практическая значимость результатов работы для науки и производства, внедрения

Результаты работы могут найти практическое применение в области численного анализа колебательных систем, примерами которых является значительное число реальных технических систем (колебания атомов в кристаллических решетках, различные виды маятниковых механизмов, управление роботами, периодические процессы в динамике популяций, автоколебательные системы в человеческом организме и многие другие). Предложенные в работе методы изучения динамики подобных систем могут послужить основой для программно-аппаратной реализации при решении задач синхронизации, регуляризации и управления хаотическими режимами, а также стабилизации и управления.

Рекомендации по применению результатов

Результаты диссертационной работы Решетовой Ольги Олеговны применимы в научных и практических исследованиях ИТМиВТ РАН, ИПУ РАН, ИППИ РАН, а также в учебной и научной работе Московского, Санкт-Петербургского, Тамбовского, Самарского и Воронежского государственных университетов.

Недостатки и замечания

К недостаткам и замечаниям работы можно отнести следующие:

1. Гистерезисная модель Боука-Вена занимает важное место в диссертации, тем не менее, автор ограничился лишь кратким её описанием. В частности, не указано, какие параметры влияют на форму и площадь гистерезисной петли. Использование этой информации позволило бы расширить возможности аналитических методов (в сравнении с численными) применительно к основным результатам работы 3 и 4 глав.

2. Одним из результатов второй главы является построение амплитудно-фазовой характеристики в задаче о вынужденных колебаниях осциллятора с релейной нелинейностью. Рисунок 2.6, где изображена указанная характеристика, нуждается в расширенных комментариях.

3. Преобразователь неидеального реле описан в диссертации дважды: в разделе 1.1.1 и следующем за ним, посвященном преобразователю Преисаха.

4. Численные эксперименты, иллюстрирующие результаты второй главы (в частности системы (2.34)) описаны довольно небрежно: не указаны начальные условия.

5. В диссертации слабо раскрыты вопросы использования полученных результатов. В частности, соискатель утверждает, что использование разработанных алгоритмов, учитывающих гистерезисные явления, позволит увеличить срок службы роботов. Однако, обоснование этого утверждения отсутствует.

6. В диссертации отсутствует проверка адекватности разработанных математических моделей путём сравнения с экспериментальными данными.

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

ВЫВОД

Диссертационная работа Решетовой Ольги Олеговны на тему: «Динамические режимы моделей осцилляторов с гистерезисными нелинейностями» представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую решение актуальной *научной задачи* анализа колебательных систем (на примере гармонического осциллятора и осциллятора Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями с точки зрения решения задач синхронизации, регуляризации и управления хаотических режимов.

Диссертационная работа написана понятным, профессиональным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Решетовой Ольги Олеговны удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа рассмотрена и одобрена на расширенном заседании кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Института автоматики и информационных технологий Тамбовского государственного технического университета, протокол № 4 от 15.04.2022 г.

Зав. кафедрой "Системы
автоматизированной поддержки
принятия решений", к.т.н., доцент

И.Л. Коробова

Профессор кафедры "Системы
автоматизированной поддержки
принятия решений", д.т.н., профессор

Ю.В. Литовка

Секретарь

О.А. Кузнецова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»)

Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2

Телефон: (4752) 63-10-19

Факс: 63-06-43

E-mail: tstu@admin.tstu.ru

Сайт: <https://tstu.ru/>