

Отзыв

официального оппонента д.ф.-м.н., профессора Манаковой Натальи Александровны на диссертационную работу Антипиной Екатерины Дмитриевны «Математическое моделирование нелинейных динамических систем с векторным входом в теплоэнергетике (численные методы, алгоритмы)», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследования

Современные задачи управления и оптимизации в теплоэнергетике требуют разработки адекватных математических моделей. Особую сложность представляют нелинейные динамические системы с векторным входом, характерные для реального теплоэнергетического оборудования. Традиционные подходы к моделированию на основе систем дифференциальных уравнений часто оказываются недостаточно эффективными из-за недостаточности априорной информации о параметрах объектов.

В этом контексте применение аппарата интегральных уравнений Вольтерры представляет собой перспективное направление, позволяющее осуществлять непараметрическую идентификацию сложных динамических систем. Однако практическое использование методов математического моделирования на основе полиномов Вольтерры сдерживается трудностями решения обратных задач идентификации переходных характеристик и восстановления входных сигналов.

Предложенные в диссертации подходы к построению интегральных моделей на основе новых классов уравнений Вольтерры I рода с переменными пределами интегрирования позволяют преодолеть указанные ограничения. Разработанные численные методы и алгоритмы ориентированы на решение практических задач моделирования теплоэнергетического оборудования в условиях неполной априорной информации, что определяет актуальность проведенного исследования.

Анализ содержания работы

Диссертационная работа Антипиной Е.Д. состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников из 173 наименований и двух приложений. Общий объем работы составляет 142 страницы машинописного текста, иллюстрированного 18 рисунками и 13 таблицами.

Во введении представлен детальный анализ актуальности темы, сформулированы цели и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава содержит анализ современных подходов к математическому моделированию нелинейных динамических систем. Особое внимание уделено теоретическим основам применения полиномов Вольтерры для систем с векторным входом. Обоснована постановка задач идентификации ядер и восстановления входных сигналов.

Вторая глава представляет разработку новых численных методов решения многомерных уравнений Вольтерры I рода. Теоретически доказаны положения о разрешимости соответствующих систем уравнений. Практическая ценность подтверждена верификацией алгоритмов на тестовых примерах.

Третья глава демонстрирует реализацию разработанных методов в виде программного комплекса. Проведена апробация алгоритмов на задачах моделирования теплоэнергетического оборудования, показавшая эффективность предложенных подходов.

Заключение содержит систематизированные выводы по результатам исследования. Объем и структура работы полностью соответствуют поставленным задачам, изложение материала отличается научной строгостью и логической целостностью.

Приложения А и Б содержат дополнительные материалы, подтверждающие достоверность результатов, включая свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Акт о внедрении результатов исследования свидетельствует о практическом применении разработанных методов.

Оценка научной новизны исследований и полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы определяется разработкой комплекса методов математического моделирования нелинейных динамических систем с векторным входом. Впервые предложен подход к построению математических моделей нестационарной динамики теплоэнергетических объектов на основе новых классов интегральных уравнений Вольтерры I рода с переменными пределами интегрирования. Разработаны модифицированные методы численного решения многомерных уравнений Вольтерры I рода, обеспечивающие идентификацию несимметричных ядер с учетом запаздывания измерительных сигналов. Теоретически обоснованы и доказаны положения о разрешимости специальных классов систем алгебраических уравнений, возникающих при идентификации квадратичных полиномов Вольтерры для кусочно-линейных тестовых воздействий. Создан и верифицирован комплекс вычислительных алгоритмов, расширяющий функциональные возможности программно-вычислительных комплексов для моделирования нелинейной динамики энергетических объектов. Практическая значимость подтверждается реализацией методики параметрической оптимизации интегральных моделей, позволяющей повысить точность моделирования теплоэнергетических

процессов при векторных входных сигналах. Полученные результаты обладают научной новизной и представляют значительный вклад в развитие методов математического моделирования динамических систем.

Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы

Теоретическая ценность работы заключается в развитии математического аппарата для моделирования нелинейных динамических систем. Разработанные методы и алгоритмы расширяют теоретическую базу методов идентификации и анализа сложных технических систем. Доказанные теоремы и аналитические выводы создают основу для дальнейших исследований в области интегральных уравнений Вольтерры.

Практическая ценность исследования подтверждается разработкой программного комплекса, реализующего предложенные методы. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и оптимизации теплоэнергетического оборудования, а также в образовательном процессе для подготовки специалистов в области прикладной математики и энергетики. Полученные алгоритмы позволяют повысить точность моделирования динамических процессов в реальных энергетических установках.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата теории интегральных уравнений и вычислительных методов. Корректность разработанных алгоритмов подтверждена верификацией на тестовых примерах с известными решениями. Теоретические положения подкреплены строгими математическими доказательствами сформулированных теорем. Реализация методов в виде программного комплекса прошла тестирование и показала устойчивую работу. Результаты вычислительных экспериментов согласуются с теоретическими положениями работы. Апробация основных результатов на научных конференциях и публикации в рецензируемых изданиях дополнительно подтверждают достоверность представленных в диссертации положений.

Соответствие диссертации и паспорту специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа и автореферат Антипиной Е.Д. полностью соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по следующим аспектам:

П. 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений (физико-математические науки) – соответствует положениям

диссертации, связанным с созданием новых классов интегральных уравнений Вольтерры I рода и разработкой методов их решения.

П. 2. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий – соответствует разделу работы, посвященному разработке и исследованию численных методов идентификации ядер Вольтерры.

П. 3. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента – соответствует положениям диссертации о создании программного обеспечения и его апробации на практических задачах.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты.

Соответствие критериям, которым должна соответствовать диссертационная работа на соискание ученых степеней

Проведенный анализ диссертационной работы Антипиной Е.Д. позволяет утверждать, что представленное исследование в полном объеме соответствует критериям, установленным пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями и дополнениями). Работа выполнена самостоятельно и обладает внутренним единством. Диссертация удовлетворяет требованиям по содержательным и формальным критериям: научные положения работы содержат элементы новизны и вносят вклад в развитие методов математического моделирования нелинейных динамических систем; теоретические результаты подкреплены строгими математическими доказательствами; практическая значимость подтверждена разработкой программного комплекса и возможностью применения результатов в теплоэнергетике; объем и глубина исследования соответствуют поставленным целям и задачам.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, в том числе в рецензируемых журналах из перечня ВАК и в изданиях, индексируемых в международных базах данных. Структура работы соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, материалы прошли апробацию на научных конференциях, библиографический список содержит необходимое количество источников, оформление работы соответствует установленным стандартам. Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, отвечающее всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные вопросы и замечания по работе

При всем качестве диссертационной работы, в ходе ее изучения возникли следующие вопросы, которые автору целесообразно будет учесть в дальнейших исследованиях:

1. При верификации алгоритмов на реальных данных вопросы фильтрации экспериментальных данных рассмотрены не в полной мере. Требуется дополнительное исследование устойчивости методов к случайным «выбросам» («всплескам») в исходных сигналах, характерным для реальных условий эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

2. В работе теоретически исследуются модели с векторной размерностью до трех компонент, однако практическая реализация и верификация алгоритмов представлена преимущественно для двумерного случая. Целесообразно расширить вычислительные эксперименты на случай трехкомпонентных векторных входных сигналов для полной демонстрации возможностей разработанных методов.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер и отражают перспективные направления дальнейшего развития исследования. Они не снижают общей положительной оценки работы и значимости полученных научных результатов.

Заключение

Проведенный анализ диссертационной работы позволяет сделать вывод о ее соответствии всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автором решена актуальная научная задача, обладающая теоретической и практической значимостью. Полученные результаты содержат научную новизну и вносят вклад в развитие методов математического моделирования.

Диссертационная работа Антипиной Е. Д. «Математическое моделирование нелинейных динамических систем с векторным входом в теплоэнергетике (численные методы, алгоритмы)» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Материалы диссертации прошли необходимую апробацию в научных публикациях и на конференциях. Теоретические положения и выводы обоснованы и достоверны.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Высказанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Антипиной Екатерины Дмитриевны заслуживает положительной оценки, а ее автор – присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Уравнения математической физики»
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»

«24» ноября 2025 г. Манакова Н.А. Манакова

Рабочий адрес: 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область,
г. Челябинск, просп. Ленина, д. 76

Тел./факс: +7 (351) 267-99-00

Web: <https://www.susu.ru/ru>

E-mail: manakovana@susu.ru



ВЕРНО
Начальник службы
делопроизводства ЮУрГУ
Н.Е. Циулина