

АННОТИРОВАННЫЙ ОТЧЕТ

о результатах НИР по гранту за 2021 год

Конкурс 2021 года на соискание грантов
для поддержки научно-исследовательской работы
аспирантов и молодых сотрудников ИГУ.

Направление Математика, механика и информатика Шифр гранта 091-21-301

1. Наименование НИР по гранту: «Численное решение неклассических линейных уравнений Вольтерра I рода и их приложения»
2. Структурное подразделение (кафедра, лаборатория): «Математического анализа и дифференциальных уравнений»
3. Исполнитель НИР: Антипина Екатерина Дмитриевна
(Ф.И.О)
4. Координаты исполнителя НИР: +7(950)-110-38-84, alla_vasilyevna@mail.ru
(телефон, факс, E-mail)
5. Ожидаемые результаты в соответствии с заявленным планом работы

Традиционно математическое моделирование динамики технических объектов тепло- и электроэнергетики основано на применении аппарата дифференциальных уравнений. По мере усложнения задач математического моделирования динамики систем и расширения класса исследуемых технических объектов возникает необходимость развития и совершенствования традиционных методов. К настоящему времени очевидна актуальность в повышении эффективности аналитических методов для качественного исследования динамики систем, повышении универсальности математических моделей, а также усовершенствовании методов решения обратных задач.

Один из конструктивных путей к решению данных проблем состоит в привлечении аппарата интегральных уравнений, позволяющего получить эквивалентную с аналитической точки зрения математическую модель, но отличную по методам реализации. Универсальность интегральных уравнений, а также понижение сложности за счет устойчивых к возмущениям исходных данных процедур вычисления послужили основой для формирования самостоятельного метода математического моделирования. Хотя классическая теория интегральных уравнений сформировалась, проблема применения интегральных уравнений как метода математического моделирования по-прежнему является актуальной.

В данной работе основное внимание будет акцентироваться на одном из таких аппаратов, а именно интегро-степенных рядах Вольтерра. Одним из преиму-

ществ данного аппарата является быстроедействие модели, построенной с его помощью, а недостаток состоит в сложности процедуры идентификации ядер Вольтерра. В данной работе развиваются методы идентификации, предложенные в монографии [1]. Там же представлен критический обзор существующих подходов к идентификации ядер Вольтерра. В отличие от методики [1], основанной на введении тестовых сигналов в виде комбинации функций Хевисайда, в данной работе планируется рассмотреть иные виды входных воздействий, учитывающих специфику реальных динамических объектов. Подобная модификация влечет за собой необходимость исследования новых классов интегральных уравнений Вольтерра I рода с переменными верхним и нижним пределами интегрирования, доказательство теорем существования и единственности их решения в классе непрерывных функций и, как следствие, разработку соответствующих численных методов, устойчивых к возмущениям исходных данных. Важным аспектом данной работы является этап верификации численных алгоритмов, который запланирован применительно к реальному объекту теплоэнергетики – участку пароводяного тракта энергоблока Назаровской ГРЭС.

Ранее были рассмотрены интегральные уравнения: одномерное интегральное уравнение Вольтерра I рода и парные двумерные интегральные уравнения Вольтерра I рода, выделенные для идентификации ядер Вольтерра с помощью тестовых сигналов двух видов, отличных от [1]. С помощью метода средних прямоугольников и метода типа Рунге-Кутта получены формулы для разностных аппроксимаций несимметричных ядер Вольтерра [2]. На основе модификации метода шагов [3] получены формулы обращения двумерного парного интегрального уравнения Вольтерра I рода с предысторией [4].

На основе участка пароводяного тракта, входящего в состав энергоблока Назаровской ГРЭС, были построены математические модели в случае скалярных входных сигналов в виде расхода воды и расхода пара [5]. Для дальнейшей модификации этих моделей был проведен набор и анализ данных для построения векторной модели [6].

Основные этапы работы, планируемые к выполнению в рамках данного проекта, включают:

- получение формул обращения для трехмерных линейных интегральных уравнений с предысторией;
- доказательство теорем существования и единственности соответствующих многомерных интегральных уравнений Вольтерра I рода (в рамках развития подхода [7]);
- разработку новых численных методов и модификацию программного обеспечения [8].

По результатам работы предполагаются следующие результаты исследований:

- получение формул обращения для трехмерных линейных интегральных уравнений с предысторией;
- получение теорем существования и единственности многомерных интегральных уравнений Вольтерра I рода.

Список литературы

1. Apartsyn A. S. Nonclassical Volterra Integral Equations of the First Kind: Theory and Numerical Methods. VSP, Utrecht-Boston, 2003. 168 p.
2. Antipina E. D. Numerical solution the Volterra dual integral equation of the first kind based on a method of Runge-Kutta type // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953. P. 012064. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012064
3. Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М.: Наука, 1971. 296 с.
4. Solodusha S. V., Antipina E. D. Inversion formulas and their finite-dimensional analogs for multidimensional Volterra equations of the first kind // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1715. P. 012046. DOI: 10.1088/1742-6596/1715/1/012046
5. Antipina E. D., Spiryaev V. A., Tairov E. A. Application of a Volterra quadratic polynomial to modeling elements of heat engineering devices // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 114. P. 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/201911401007
6. Antipina E.D., Tairov E.A., Markova E.V. Studying the complexity of identification of Volterra kernels for the case of a vector input signal of arbitrary dimension // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 209. P. 03004. DOI: 10.1051/e3sconf/202020903004
7. Markova E., Sidler I., Solodusha S. Integral Models Based on Volterra Equations with Prehistory and Their Applications in Energy // Mathematics. 2021. Vol. 9. P. 1127. DOI: 10.3390/math9101127
8. Антипина Е.Д. Программно-вычислительный комплекс «Численное решение двумерного интегрального уравнения Вольтерра I рода относительно несимметричного ядра методом Рунге-Кутты» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020617244. 02.07.2020.

6. Основные полученные научные результаты


В сочетании с предполагаемыми результатами

- были получены условия разрешимости для многомерного уравнениям Вольтерра I рода;
- была получена теорема существования и единственности для уравнения Вольтерра I рода с фронтом нарастания;
- для уравнения Вольтерра I рода с фронтом нарастания были получены формулы обращения, для которых в свою очередь был зарегистрирован программный продукт;
- был собран и обработан массив данных для построения математической модели участка пароводяного тракта энергоблока Назаровской ГРЭС на основе рядов Вольтерра в случае векторного входного сигнала (расход воды x_1 и расхода пара x_2).

7. Предполагаемое использование результатов, в том числе в учебном процессе

8. Перечень публикаций(**) по результатам работы (статьи, доклады) с приложением оттисков или рукописей, направленных в печать

Антипина Е. Д., Формулы обращения для одного класса трехмерных уравнений Вольтерра I рода // Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2021). Материалы 3-й Международной конференции (Иркутск, 13-17 сентября 2021 г.). – Иркутск, 2021. - С.9–11.

Исполнитель НИР по гранту _____  _____ (Антипина Е.Д.)
(подпись)
