

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор-

проректор по научной работе и

стратегическому развитию

МГТУ им. Н.Э. Баумана

д.т.н., доцент Б.Н. Коробец

«19» _____ 2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Конашенковой Татьяны Дмитриевны «Вейвлет методы анализа точности и обработки информации в стохастических системах при ударных воздействиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)»

Актуальность. В диссертационной работе рассматриваются проблемы исследования точности и обработки информации в технических изделиях наукоемкой продукции высокой точности, функционирующих в условиях нестационарных ударных возмущений различной природы и воздействия стохастических факторов промышленного производства и эксплуатации. Примером таких технических изделий являются прецизионные информационно-управляющие системы. Изучение свойств рассматриваемых технических изделий, как правило, проводится на основе их математических моделей из-за трудности или невозможности проведения натурных испытаний.

Адекватной математической моделью, описывающей поведение технического изделия под воздействием внешних условий, может быть только стохастическая. В диссертационной работе техническое изделие рассматривается как ударная стохастическая система (УдСтС), и его математической моделью выбрано стохастическое дифференциальное уравнение Ито, описывающее ошибки функционирования технического изделия как следствие стохастических факторов и детерминированных и стохастических ударных воздействий. Стохастическое ударное воздействие характеризуется ударной случайной функцией.

Решению задач анализа точности и обработки информации в стохастических системах при ударных воздействиях посвящено много публикаций. В них описываются специальные приближенные методы, ориентированные на конкретные классы стохастических систем и

УС
[Handwritten signature]

определенный вид ударного воздействия. Поэтому актуальна проблема разработки универсальных приближенных методов и алгоритмов анализа точности и обработки информации в УдСтС.

Ударные воздействия описываются кусочно-непрерывными, полугармоническими, быстро меняющимися и т.п. функциями. Для анализа таких функций в настоящее время широко применяются вейвлет технологии. Поэтому применение вейвлет технологий при разработке методов и алгоритмов анализа точности и обработки информации в УдСтС является актуальной научной проблемой.

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов для инструментального программного обеспечения вейвлет анализа и обработки информации в стохастических системах при ударных воздействиях.

Структура и содержание работы. Диссертация Конашенковой Т.Д. имеет традиционную структуру и содержит введение, четыре раздела, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы, приложение, список публикаций автора по теме диссертации. В конце каждого раздела приведены выводы. Основной текст диссертации изложен на 165 страницах. Список литературы содержит 131 наименование.

Автором диссертации разработаны:

1) вейвлет методы построения канонического разложения скалярной и векторной ударных функций в заданной области изменения аргумента на основе ортогональных вейвлетов с компактными носителями;

2) алгоритмы нахождения неизвестных математического ожидания, ковариационной матрицы, матрицы ковариационных функций на основе применения метода Галёркина и вейвлет разложений для линейной и линейной с параметрическими шумами УдСтС;

3) вейвлет метод построения оптимального в среднем квадратическом линейного оператора для обработки информации и вейвлет метод синтеза оптимальной в среднем квадратическом линейной системы для обработки информации в режиме реального времени в случае линейной зависимости сигнала от параметров и аддитивной помехи;

4) вейвлет модификации фильтра Калмана-Бьюси обработки информации в линейных УдСтС и линейного фильтра Пугачева обработки информации в линейных УдСтС с параметрическими шумами;

5) основные положения методики анализа точности УдСтС.

Во введении обоснована актуальность работы и описана ее новизна.

В разделе 1 "Обзор работ и постановка задач" приведен краткий обзор работ в области теории ударных стохастических систем, описаны модели и характеристики ударных воздействий, даны постановки задач диссертационной работы.

Раздел 2 "Вейвлет методы и алгоритмы построения канонических разложений ударных случайных функций" посвящен развитию корреляционной теории канонических разложений для ударных случайных функций на основе применения вейвлет технологий. Для анализа и

моделирования существенно нестационарных скалярной и векторной ударных случайных функций разработаны методы и алгоритмы построения канонического разложения ударной случайной функции на основе вейвлет разложения её ковариационной функции.

Раздел 3 "Вейвлет методы и алгоритмы анализа точности стохастических систем при ударных воздействиях" посвящен описанию методов и алгоритмов анализа точности УдСтС, математической моделью которых является стохастическое дифференциальное уравнение.

Для линейной УдСтС и линейной УдСтС с параметрическими шумами известны замкнутые системы обыкновенных дифференциальных уравнений для нахождения неизвестных математического ожидания, ковариационной матрицы, матрицы ковариационных функций, содержащие функции, описывающие ударные воздействия.

Применение приближенных итерационных методов решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных функций, содержащих функции сложной формы (дельта-функцию или кусочно-непрерывные функции), часто требуют разработки специальных приближенных методов для каждого вида функции. На основе применения модификации известных метода вейвлетов Хаара и метода Галеркина (метода вейвлетов Хаара-Галеркина) для линейной УдСтС и для линейной УдСтС с параметрическими шумами разработаны алгоритмы нахождения неизвестных математического ожидания, ковариационной матрицы, матрицы ковариационных функций, позволяющие заменить решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений решением системы линейных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами.

Разработанные алгоритмы являются универсальными, и позволяют заменить вычислительные процедуры с функциями сложной формы арифметическими действиями с постоянными коэффициентами вейвлет разложений соответствующих функций по ортонормированному базису вейвлетов с компактными носителями.

Для анализа точности нелинейных УдСтС предлагается использовать модификацию моментно-семиинвариантного метода, разработанную автором для определения математического ожидания и ковариационной матрицы с учетом определенного набора старших моментов вектора состояния системы.

Для нелинейных круговых ударных случайных функций разработан метод эквивалентной статистической круговой намотанной нормальной линеаризации. Рассчитаны статистические коэффициенты для некоторых типовых нелинейностей.

Разработана и описана методика анализа динамической точности УдСтС на основе уравнения ошибок, являющихся следствием стохастических факторов и ударных воздействий.

Раздел 4 "Вейвлет методы и алгоритмы обработки информации в режиме реального времени в стохастических системах при ударных воздействиях" посвящен описанию разработанных автором вейвлет методов

и алгоритмов обработки информации в режиме реального времени в линейных УдСтС.

В работе рассмотрена задача синтеза оптимальной в среднем квадратическом линейной системы. На основе вейвлет разложения ковариационной функции входной скалярной случайной функции и взаимной ковариационной функции входной скалярной случайной функции и требуемого одномерного выходного сигнала построен вейвлет оптимальный в среднем квадратическом линейный оператор системы в виде набора формальных правил, описывающих реакцию системы на базисные вейвлет функции.

Для случая линейной зависимости сигнала от параметров и аддитивной помехи построен вейвлет оптимальный в среднем квадратическом линейный оператор, получены формулы для вычисления средней квадратической оценки качества этого оператора и средней квадратической оценки требуемого выходного сигнала.

Разработаны вейвлет модификации фильтра Калмана-Бьюси и линейного фильтра Пугачева для обработки информации в режиме реального времени в УдСтС на основе применения метода вейвлетов Хаара-Галеркина. Вейвлет фильтр Калмана-Бьюси и вейвлет линейный фильтр Пугачева решают в режиме реального времени систему линейных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами в отличие от фильтра Калмана-Бьюси и линейного фильтра Пугачева, которые должны интегрировать систему обыкновенных дифференциальных уравнений, содержащих функции сложной формы (дельта-функцию или кусочно-непрерывные функции).

В заключении приведены основные результаты диссертации.

В Приложении представлен обширный материал с описанием инструментального программного обеспечения и тестовых примеров. Проведен сравнительный анализ результатов приближенных вычислений, полученных с помощью разработанных вейвлет методов, с известными приближенными методами или с точным решением.

Научная новизна результатов

1) Разработана вейвлет теория точности линейной и линейной с параметрическими шумами УдСтС на основе применения метода Галёркина и вейвлет разложений.

2) Разработан алгоритм построения оптимального в среднем квадратическом линейного оператора для обработки информации с применением вейвлет технологий.

3) Разработаны вейвлет модификации фильтра Калмана-Бьюси в линейных УдСтС и линейного фильтра Пугачева в линейных УдСтС с параметрическими шумами для обработки информации в режиме реального времени.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения разработанной типовой методики анализа точности УдСтС для оценки точности функционирования проектируемых прецизионных технических изделий различного назначения, предназначенных для

функционирования в условиях воздействия случайных факторов и ударных возмущений.

Достоверность результатов подтверждается строгими математическими выкладками и результатами широкого вычислительного эксперимента.

Личный вклад. Все результаты, изложенные в диссертации, принадлежат лично автору. В совместных работах автор принимал непосредственное участие в разработке методов и алгоритмов анализа и синтеза стохастических систем, реализации разработанного математического обеспечения в виде инструментального программного обеспечения, проведении вычислительных экспериментов.

Замечание. В разделе 4 диссертации автор предлагает метод и алгоритм синтеза вейвлет оптимального в среднем квадратическом линейного оператора УдСтС для скалярных входного и выходного сигналов системы. В диссертации следовало бы рассмотреть обобщение разработанного метода и алгоритма для векторных входного и выходного сигналов системы.

Публикации. Основные научные результаты изложены в 22 публикациях: в 16 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе в 2 публикациях в журнале, входящем в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, а также в 6 публикациях в сборниках трудов профильных конференций.

Заключение. Диссертационная работа Конашенковой Татьяны Дмитриевны является завершенной научно-квалификационной работой содержащей научно обоснованные вейвлет методы анализа точности и обработки информации в стохастических системах при ударных воздействиях.

Диссертация обладает внутренним единством и содержит научные результаты и положения по использованию вейвлет технологий:

1) при построении канонического представления скалярной и векторной ударных случайных функций;

2) при анализе точности линейной стохастической дифференциальной системы и линейной стохастической дифференциальной системы с параметрическими шумами при ударных воздействиях;

3) при построении оптимального в среднем квадратическом линейного оператора для обработки информации;

4) при построении модификаций фильтра Калмана-Бьюси для линейной стохастической дифференциальной системы и линейного фильтра Пугачева для линейной стохастической дифференциальной системы с параметрическими шумами при ударных воздействиях.

Для анализа точности существенно нелинейных стохастических дифференциальных систем при ударных воздействиях предлагается применять модифицированный моментно-семиинвариантный метод.

Для линеаризации нелинейных ударных случайных функций, зависящих от круговых случайных величин, разработан метод эквивалентной статистической линеаризации.

Диссертация Конашенковой Татьяны Дмитриевны соответствует всем требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020). Полученные соискателем теоретические и практические результаты позволяют сделать вывод о высокой научной квалификации автора.

Таким образом, Конашенкова Татьяна Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)".

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры систем автоматизированного проектирования МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет).

Заведующий кафедрой
систем автоматизированного
проектирования Московского
государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский
университет)
д.ф.-м.н., профессор



А.П. Карпенко

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
тел.(499)263-62-90, эл.почта: apkarpenko@bmstu.ru