

## ОТЗЫВ

на автореферат докторской диссертации

Майстренко Андрея Васильевича

### «МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ, ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»

по специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление

технологическими процессами и производствами

на соискание ученой степени доктора технических наук

Выбранная тема исследований является актуальной, так как для повышения эффективности функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) необходимо непрерывное совершенствование управляющих и информационно-измерительных подсистем, которые являются их неотъемлемой частью. Ключевую роль в этих подсистемах играют алгоритмы дифференцирования сигналов, так как они непосредственно влияют на качество работы АСУТП. Задача дифференцирования сигналов актуальна в науке и технике, особенно в областях, связанных с математическим моделированием динамических процессов и автоматизацией управления, где используются дифференциальные уравнения.

Эффективное решение задачи дифференцирования сигналов критически важно для создания цифровых регуляторов, которые обеспечивают управление технологическими процессами в таких отраслях, как теплоэнергетика, металлургия и нефтехимия. Без использования производных регулируемых переменных и их точных оценок невозможно обеспечить высокую точность управления.

Традиционные аналоговые дифференцирующие цепочки и усилители не позволяют создать идеальный дифференциатор, способный точно оценить производную преобразуемого сигнала. Основное препятствие здесь заключается в физической нереализуемости таких дифференциаторов. Однако, использование современных микропроцессорных технологий и методов цифрового дифференцирования сигналов (ЦДС) может решить эту проблему.

Задача ЦДС, при которой значения сигналов имеют ошибки, и получение точных оценок производных является некорректной, подчеркивает необходимость исследования существующих и разработки новых методов ЦДС. Важно выбрать те методы, которые наиболее подходят для реализации на современной микропроцессорной технике и позволяют достичь необходимых характеристик.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждаются использованием современного оборудования, высокой повторяемостью и воспроизводимостью измерений, а также применением строгих математических методов решения задач, обоснованным использованием современных технологий разработки программного обеспечения и общепринятых методик, адаптированных к условиям исследования. Выводы и заключения являются аргументированными и обоснованными, не противоречат современным представлениям при решении задач цифрового дифференцирования сигналов.

В рамках проведенных исследований были достигнуты значимые результаты, которые способствуют совершенствованию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП):

1. Регуляризация для линейных АСУТП: Разработан оригинальный способ регуляризации, основанный на методе цифрового дифференцирования сигналов (ЦДС)

и решениях интегральных уравнений В. Вольтерра. Синтезированы два метода структурной регуляризации для плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

2. **Метод ЦДС для систем автоматического регулирования:** Синтезирован и программно реализован метод ЦДС, использующий многоточечное оценивание неизвестных величин на основе экспериментальных измерений и псевдообратных матриц.
  3. **Метод дихотомии для нелинейных систем:** Для нелинейных АСУТП разработан модифицированный метод дихотомии, который демонстрирует более высокую скорость сходимости вычисляемых решений к их истинным значениям.
  4. **Определение интервалов стационарности:** Для АСУТП магистральными трубопроводами синтезирован метод и алгоритм автоматизированного определения интервалов стационарности процессов. Этот метод использует алгоритм ЦДС и позволяет оператору самостоятельно выбирать доверительные интервалы стационарности, обеспечивая высокую точность.
  5. **Модифицированный алгоритм Грама-Шмидта:** Для линейных АСУТП разработан модифицированный алгоритм Грама-Шмидта, который снижает неустойчивость решения к ошибкам задания ортонормируемых векторов и вычислений, а также позволяет обрабатывать входные переменные в режиме реального времени.
  6. **Тестирование систем АСУТП:** Синтезирован модифицированный метод обращения малых вещественных чисел, основанный на математике «длинных чисел». Это позволяет получать характеристики матриц Гильберта до сотого порядка и выше, что полезно для тестирования алгоритмов матричных вычислений.
  7. **Оригинальный ПИД-регулятор:** Синтезирован новый ПИД-регулятор на базе алгоритма ЦДС, который использует скользящую квадратичную аппроксимацию дифференцируемого сигнала и псевдообратные матрицы. Этот регулятор обладает значительными преимуществами по сравнению с классическими аналогами.
  8. **Метод для автоматического регулирования объектов:** Разработан метод, основанный на концепции обратных задач динамики и разностных уравнениях, который описывает связи между регулируемой переменной объекта управления и управляющими воздействиями, формируемыми регулятором.
- Такие результаты открывают новые возможности для повышения эффективности и надежности АСУТП, а также для решения сложных задач автоматизации управления.

**Практическая значимость** полученных в ходе работы результатов проявляется в нескольких ключевых проектах:

1. **АО «ЭлеСи»:** В этой компании алгоритмы цифрового дифференцирования сигналов (ЦДС) были успешно использованы при разработке регуляторов различного типа и назначения. Также был разработан и программно реализован новый метод определения стационарности процессов, основанный на алгоритме ЦДС с использованием скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц.
2. **Компания «Сибagro Мясопереработка»:** По заказу этой компании была разработана АСУ варочными камерами «Маутинг». Для этого был изготовлен специализированный регулятор, при разработке которого использовался алгоритм, основанный на скользящей аппроксимации дифференцируемого сигнала с помощью алгебраических полиномов второго порядка.
3. **Филиал «Новолипецкого Металлургического комбината» в г. Томске:** Здесь было реализовано практическое использование алгоритма ЦДС в виде ПИД-регулятора, который функционирует в реальной автоматизированной системе управления шкафами

автоматики. Также был разработан адаптивный регулятор, основанный на методе автоматического регулирования процессов с использованием концепции обратных задач динамики. Этот регулятор был интегрирован в устройство автоматизированного управления прессом «Lindeman LIS-616», что повысило эффективность управления.

4. **ОАО АКБ «Якорь-2» (г. Москва):** При синтезе регуляторов для цифровой системы управления транзисторным преобразователем частоты был использован алгоритм ЦДС, основанный на многоточечном оценивании неизвестных величин по экспериментальным измерениям и псевдообратных матриц. Это позволило упростить программную и аппаратную реализацию регулятора, а также повысить точность поддержания параметров выходной энергии системы автономного генерирования электроэнергии (СГА-ОН) для поддержания летной годности воздушных судов Ту-214 в динамических режимах.

Эти примеры демонстрируют, как разработанные алгоритмы и методы способствуют улучшению процессов управления в различных отраслях, повышая их эффективность, надежность и точность.

Полученные результаты также широко применяются в образовательном процессе, автором подготовлены учебные пособия.

Основные результаты исследований по теме диссертации отражены в 51 публикации, цитируемых по ходу изложения материала. Из них 16 в журналах, входящих в перечень периодических научных изданий, рекомендуемых ВАК, 5 в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus. Результаты исследования нашли отражение в 2 отчетах НИР, 2 монографиях.

Содержание автореферата точно и грамотно отражает суть диссертационной работы. Диссертационная работа «МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ, ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ» соответствует требованиям ВАК о порядке присуждения ученой степени доктора наук. Ее автор, Майстренко Андрей Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

#### **Информация о лице, составившем отзыв:**

Ректор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

(адрес организации: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28;

телефон: 8 (3842) 39-69-60, эл. почта официальная: kuzstu@kuzstu.ru, <https://kuzstu.ru/>),

Доктор технических наук (1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, 1.3.8 – Физика конденсированного состояния), доцент по кафедре лазерной и световой техники

23.12.2024 г.

Я, Яковлев Алексей Николаевич, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Майстренко Андрея Васильевича.



Яковлев Алексей Николаевич

23.12.2024 г.

Подпись Алексея А. Я.  
**ЗАВЕРЯЮ**  
 учредитель секретарь совета  
 Яковлев Алексей Николаевич

Яковлев Алексей Николаевич