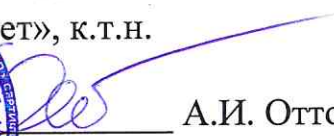


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям

ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический
университет», к.т.н.



 А.И. Отто

15 ноября 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Майстренко Андрея Васильевича «Методы и алгоритмы цифрового дифференцирования сигналов, их реализация и применение в автоматизированных системах управления технологическими процессами», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Актуальность работы

В различных отраслях промышленности находят применение АСУ сложными техническими процессами и объектами. С целью повышения эффективности функционирования таких АСУТП необходимо непрерывно совершенствовать управляющие и информационно-измерительные подсистемы, являющиеся их неотъемлемой частью. Алгоритмы дифференцирования сигналов, являясь компонентами данных подсистем, играют важную роль, так как оказывают непосредственное влияние на качество функционирования АСУТП. Задача дифференцирования сигналов является одной из тех задач, с которыми приходится сталкиваться в отраслях науки и техники, связанных с математическим моделированием различных динамических процессов и объектов, описываемых дифференциальными уравнениями, и с автоматизацией управления и регулирования данными процессами. Без умения эффективно решать данную задачу и без использования производных регулируемых

переменных и знания оценок их значений невозможно создание автоматических регуляторов, обеспечивающих управление ТП в соответствии с заданными режимами и с высокой точностью.

Основными требованиями, предъявляемыми к алгоритмам ЦДС, являются их быстродействие, точность вычисляемых оценок производных и устойчивость вычисляемой производной к ошибкам задания дифференцируемого сигнала. В связи с противоречивостью данных требований, бывает сложно воспользоваться каким-либо известным алгоритмом, поэтому возникает потребность в алгоритмах, способных удовлетворить тем требованиям, которые необходимо выполнить при решении конкретной задачи.

В связи с этим **актуальной** является разработка новых методов и алгоритмов ЦДС, позволяющих повысить эффективность функционирования сложных АСУТП. Без них невозможно вести речь о создании цифровых регуляторов, обеспечивающих реализацию управления технологическими процессами в теплоэнергетике, металлургии, нефтехимии и т.п. в соответствии с заданными режимами и с высокой точностью.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1. Для линейных АСУТП с максимальным быстродействием разработан оригинальный способ регуляризации на примере метода ЦДС, основанного на использовании решений интегральных уравнений В. Вольтерра. Регуляризованная модификация, позволила повысить помехоустойчивость вычисляемой производной сигнала к ошибкам его задания на 30–70% по отношению к не регуляризованному методу. Синтезированы два метода структурной регуляризации плохо обусловленных СЛАУ.

2. Для систем автоматического регулирования синтезирован и программно реализован метод ЦДС, основанный на применении многоточечного оценивания неизвестных величин по результатам их экспериментальных измерений и псевдообратных матрицах, предназначенный для использования в АСУТП значения сигналов в которую поступают

последовательно и имеющий на 30-100% более высокую помехоустойчивость, чем у традиционных методов вычисления производных.

3. Для нелинейных систем АСУТП в качестве элемента математического обеспечения разработан модифицированный метод дихотомии решения нелинейных скалярных уравнений, обладающий более высокой скоростью сходимости вычисляемых решений к их истинным решениям и требующий на 20-50% меньших объемов вычислений, необходимых для получения решений с желаемой точностью по сравнению с исходным методом дихотомии, что позволяет увеличить быстродействие АСУТП.

4. Для АСУТП магистральными трубопроводами синтезирован метод и алгоритм автоматизированного определения интервалов стационарности процессов, основанный на применении алгоритма ЦДС с использованием значений сигналов и значений их производных, имеющий высокую точность идентификации момента времени изменения состояния ТП на противоположное, время реакции составляет не более 30-40 мс., обладает более высокой (в 2-4 раза) помехоустойчивостью по сравнению с классическими методами и позволяющий оператору АСУТП самостоятельно выбирать доверительные интервалы стационарности.

5. Для линейных АСУТП в качестве элемента математического обеспечения синтезирован модифицированный алгоритм Грама-Шмидта, позволяющий фактически в 2 раза снизить неустойчивость решения по отношению к ошибкам задания ортонормируемых векторов и ошибкам вычисления решений. Преимуществом перед обобщенным алгоритмом Грама-Шмидта и Уилкинсона является то, что его применение позволяет обрабатывать значения входных переменных, поступающих в систему последовательно в режиме реального времени. Разработаны новые методы структурной регуляризации плохо обусловленных СЛАУ. Применение регуляризации позволяет повысить точность оценивания производных сигналов на 56-70%.

6. Для тестирования алгоритмов матричных вычислений в АСУТП синтезирован и программно реализован модифицированный метод обращения малых вещественных чисел, основанный на применении математики «длинных чисел». Метод позволяет получить характеристики матриц Гильберта, до сотого порядка и выше, а ее применение позволяет тестировать алгоритмы в АСУТП.

7. Разработан модифицированный ПИД-регулятор, основанный на применении скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матрицах, имеющий более высокую точность, минимальное перерегулирование и высокую скорость выхода на заданные режимы и обладающий более высокой помехоустойчивостью. Скорость достижения заданных режимов регулирования возросла на 20-30%, перерегулирование снизилось на 10-20%, а помехоустойчивость выросла в 2-10 раз по сравнению с «классическим» регулятором.

8. Для автоматического регулирования объектов синтезирован метод, основанный на концепции обратных задач динамики и разностных уравнений, описывающих связи между значениями регулируемой переменной ОУ и управляющих воздействий, формируемых регулятором. Применение метода позволяет избавиться от основной причины, обуславливающей неустойчивость как ПИД-регулирования, так и других законов регулирования, в которых данная производная используется и существенно повысить точность. Предложенный метод является универсальным и позволяет синтезировать регуляторы для ОУ, функционирование которых может быть описано как обыкновенными дифференциальными, так и разностными уравнениями.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Теоретическая значимость работы в решении актуальной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение. Для управляющих и информационно-измерительных подсистем АСУТП синтезированы и реализованы новые методы и алгоритмы ЦДС, которые представляют высокую теоретическую ценность, так как на их основе можно создать целый ряд новых

алгоритмов, позволяющих разрабатывать новейшие автоматические регуляторы, которые можно применять в АСУТП любой степени сложности. Теоретическая значимость подтверждена экспериментальным путем.

Предложен новый подход к синтезу методов автоматического регулирования объектов, основанный на использовании концепции обратных задач динамики, автоматизированному решению задач исследования, функционирования и проектирования сложных технических управляемых систем.

Практическая значимость диссертационных исследований обусловлена возможностями создания новых цифровых автоматических регуляторов, обеспечивающих управление динамическими ТП в соответствии с заданными режимами и высокой точностью.

Практическая ценность результатов

В АО «ЭлеСи» алгоритмы ЦДС использованы при разработке регуляторов различного типа и назначения. Там же разработан и программно реализован новый метод определения стационарности процессов, основанный на применении алгоритма ЦДС с использованием скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц, используемый в АСУ магистральными нефтепроводами.

По заказу компании «Сибagro Мясопереработка» разработана АСУ варочными камерами «Маутинг». Для этого был изготовлен специализированный регулятор, при разработке которого был применен алгоритм, основанный на использовании скользящей аппроксимации дифференцируемого сигнала алгебраическими полиномами второго порядка.

Алгоритм ЦДС, основанный на применении скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц, был реализован в виде ПИД-регулятора, функционирующего в действующей АСУ шкафами автоматики в филиале «Новолипецкого Металлургического комбината» в г. Томске. Там же был разработан и программно реализован адаптивный регулятор, в основе которого использован метод автоматического регулирования процессов,

основанный на концепции обратных задач динамики, интегрированный в устройство автоматизированного управления прессом «Lindeman LIS-616».

По заказу ОАО АКБ «Якорь-2» (г. Москва) при синтезе регуляторов цифровой системы управления транзисторным преобразователем частоты был использован алгоритм ЦДС, основанный на использовании многоточечного оценивания неизвестных величин по их экспериментальным измерениям. Использование данного алгоритма позволяет упростить программную и аппаратную реализацию регулятора, а также повысить точность поддержания параметров выходной энергии системы СГА-ОН (Система автономного генерирования электроэнергии для поддержания летной годности воздушных судов Ту-214) в динамических режимах. Работы выполнены в рамках совместного с НГТУ х/д на тему «Разработка программного обеспечения для моделирования компонентов системы СГА-ОН, выдача рекомендаций для пользователя».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы научно-производственными компаниями, занимающимися разработкой АСУТП сложных технологических объектов, в теплоэнергетике, металлургии, нефтехимии и т.п. Полученные научные знания могут быть рекомендованы для использования при разработке помехоустойчивых автоматических регуляторов.

Соответствие темы диссертации научной специальности

Диссертация Майстренко А.В. посвящена повышению эффективности функционирования АСУТП, а именно управляющим и информационно-измерительным подсистемам, и алгоритмам дифференцирования сигналов, являясь компонентами данных подсистем. Исследования, представленные в диссертационной работе, соответствуют специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, следующим его пунктам: 5. – научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими

объектами; 11. – методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия; 12. – методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени; 16. – средства и методы проектирования и разработки технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Защищаемые положения и выводы диссертационной работы Майстренко А.В. имеют хорошую аргументацию, достоверность полученных результатов хорошо обоснована и подтверждается использованием современных технологий моделирования и программирования. Результаты представленных в работе теоретических и экспериментальных исследований не противоречат данным, приводимым в работах других исследований. Материалы диссертации подробно опубликованы в Российских и зарубежных журналах, а также апробированы на Международных и Всероссийских конференциях.

Замечания по работе

1. В диссертации ничего не сказано об альтернативных методах дифференцирования, таких как символьное и автоматическое дифференцирование. Последнее в настоящее время начали активно развивать как в России, так и за рубежом. Следовало сравнить все методы и обосновать необходимость создания алгоритмов именно численного дифференцирования.

2. В диссертации неоднократно упоминается о том, что многие алгоритмы реализованы в виде программных модулей и S-функций в математическом

программном пакете Matlab, но в приложениях отсутствуют свидетельства о регистрации программного обеспечения.

3. Для каждого алгоритма ЦДС следовало указать, для каких типов объектов наиболее применимы разработанные методы и алгоритмы (линейные/нелинейные, статические/динамические и т.п.), однако в диссертации об этом упоминается только во введении и заключении в общих чертах.

4. В диссертации мало уделено внимания непосредственно разработке автоматических регуляторов, автор говорит о такой возможности, но в шестой главе приводит математическое описание только для двух регуляторов. При этом оба были внедрены на конкретных объектах автоматизации, один в АСУТП камерами варки и охлаждения «Mauting», второй в АСУ прессом «Lindeman LIS-616». Следовало указать марку контроллера, его характеристики и прочие атрибуты, а также привести исходный текст программы для контроллера.

5. В диссертации крайне мало материалов, визуализирующих процессы регулирования на конкретных объектах управления, при этом акты внедрения с данных объектов имеются, нет моделей в Matlab/Simulink, реализующих алгоритмы ЦДС и нет характеристик технических средств автоматизации, в которых эти алгоритмы функционируют.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают научный уровень представленной работы, имеют непринципиальный характер и не затрагивают сущности основных положений, представленных к защите. Автореферат диссертации достаточно полно отражает её основное содержание.

В целом диссертация Майстренко А.В. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема компьютерного моделирования сложных технических управляемых систем предприятий газовой промышленности, имеющая важное хозяйственное значение для разработки

сетевых компьютерных тренажеров операторов-технологов и реализации интеллектуальных систем управления технологическими процессами, протекающими в управляемых химико-технологических системах.

Диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 30.07.2014), а её автор – Майстренко Андрей Васильевич – заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Результаты диссертационной работы Майстренко А.В. были обсуждены на научном семинаре кафедры Автоматизированных систем управления, протокол № 8 от 12.11.2024 г.

Председатель семинара
Зав. кафедрой АСУ

И.Н. Томилов

Секретарь семинара
Доцент кафедры АСУ

Д.Н. Достовалов

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Сайт: <https://www.nstu.ru>

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20

Телефон: +7 (383) 346-08-43

Электронная почта: otto@corp.nstu.ru