

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 декабря 2024 № 11

О присуждении Майстренко Андрею Васильевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «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», принята к защите 19 сентября 2024 г. (протокол № 7) диссертационным советом 24.2.415.02, созданным на базе ТУСУРа (634050, г. Томск, пр. Ленина 40). Приказ о создании диссертационного совета № 561/нк от 03.06.2021 г.

Соискатель Майстренко Андрей Васильевич, 1967 г. рождения, в 2007 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)» на тему «Синтез, исследование и применения алгоритмов цифрового дифференцирования сигналов в системах автоматического регулирования процессов» в диссертационном совете, созданном на базе ТУСУРа. С 2013 г. имеет ученое звание доцента.

В настоящее время работает доцентом кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа. Диссертация выполнена на кафедре КСУП ТУСУРа.

Научный консультант – доктор технических наук профессор Светлаков

Анатолий Антонович, профессор кафедры КСУП ТУСУРа.

Официальные оппоненты: Горюнов Алексей Германович, доктор технических наук, доцент, профессор отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры Национального исследовательского Томского политехнического университета; Мышляев Леонид Павлович, доктор технических наук, профессор, директор ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк); Ченцов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Сибирского федерального университета (г. Красноярск), дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Новосибирский государственный технический университет, в своем положительном заключении, рассмотренном на расширенном заседании кафедры автоматизированных систем управления, подписанном заведующим кафедры автоматизированных систем управления кандидатом технических наук доцентом Томиловым И.Н.; доцентом кафедры автоматизированных систем управления кандидатом технических наук Достоваловым Д.Н. (протокол № 8 от 12.11.2024 г.) и утверждённом проректором по научной работе и инновациям кандидатом технических наук Отто А.И., указала, что диссертационная работа Майстренко А.В. на соискание учёной степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение и вносящая значительный вклад в развитие управляющих и информационно-измерительных подсистем АСУ ТП. В работе синтезированы и реализованы новые методы и алгоритмы цифрового дифференцирования сигналов (ЦДС), которые представляют высокую теоретическую ценность, так как на их основе можно разрабатывать новейшие автоматические регуляторы для дальнейшего применения в АСУТП любой степени сложности. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Диссертация отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её

автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Соискатель имеет 51 опубликованную работу по теме диссертации общим объемом 1052 страниц, личный вклад автора 531 страница. Основные результаты диссертационного исследования обобщены в двух монографиях и опубликованы в 21 статье в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертаций. При этом 16 статей опубликовано в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 5 статей опубликовано в зарубежных научных изданиях, индексируемых Web of Science и/или Scopus. Получено 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые работы:

1. Майстренко, А.В. Синтез многоточечного метода цифрового дифференцирования сигналов / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков // Омский научный вестник. №3(83), 2009.- С.201-204.
2. Майстренко, А.В. Цифровое дифференцирование измеряемых сигналов с применением интегральных уравнений В.Вольтерра и его регуляризация / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков, Н.В. Старовойтов // Омский научный вестник. №2 (120), 2013. – С. 308 – 313.
3. Майстренко, А.В. Модифицированный алгоритм Грама–Шмидта ортонормирования конечномерных векторов и некоторые результаты его исследования / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков, Р.О. Черепанов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. № 3 (52), 2013. –С. 63-70
4. Майстренко, А.В. Цифровое дифференцирование сигналов на основе скользящей квадратичной аппроксимации и его применение в синтезе ПИД – регуляторов / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков, Н.В. Старовойтов // Омский научный вестник. №1 (145), 2016. –С. 73-77.
5. Майстренко, А.В. Экспериментальные исследования метода автоматического регулирования процессов, основанного на концепции обратных задач

динамики // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. № 27, 2018. –С. 175-194.

6. Майстренко, А.В. Синтез метода автоматического регулирования процессов, основанного на концепции обратных задач динамики / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков, С.А. Харитонов // Омский научный вестник. №4 (154), 2017. –С. 83-87.

7. Maysrenko, A.V. Application of numerical signal differentiation methods to determine stationarity of a process / N.V. Aksenova, T.V. Gandzha, V.M. Dmitriev, A.V. Maysrenko, A.A. Svetlakov // Petroleum and Coal (2017); 59(3): P. 311-318.

8. Maysrenko, A.V. Evaluating the Parameters of a Differential Equating Describing Start-up and Shutdown of a Pumping Unit // N.V. Aksenova, T.V. Gandzha, V.M. Dmitriev, A.V. Maysrenko, A.A. Svetlakov // Petroleum and Coal (2022); 64(2): P. 325-328.

На диссертацию и автореферат поступило 10 положительных отзывов: 1) Санкт-Петербургский государственный экономический университет (Трофимов В.В., доктор технических наук, профессор, научный руководитель кафедры информатики); 2) ОАО «Манотомь», г. Томск (Свинолулов Ю.Г., кандидат технических наук, научный руководитель СКБ ОАО «Манотомь»); 3) «АПА КАНДТ СИБИРЬ», г. Томск (Губанов С.М., доктор технических наук, главный инженер); 4) Северский технологический институт-филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Брендаков В.Н., доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и информационных технологий); 5) Омский государственный технический университет (Хомченко В.Г., доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и робототехники); 6) Иркутский государственный университет путей сообщения (Краковский Ю.М., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и защиты информации); 7) Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток (Ведяшкин М.В., кандидат технических наук, проректор университета); 8) АО «Росатом Автоматизированные системы управления», г. Москва (Гильмутдинов А.Ю., кандидат

технических наук, главный эксперт); 9) Уфимский государственный нефтяной технический университет в г. Стерлитамак (Муравьёва Е.А., доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой автоматизированных технологических и информационных систем).

В отзывах на диссертацию и автореферат указаны следующие основные замечания: в диссертации и автореферате неоднократно упоминается о том, что многие алгоритмы реализованы в виде программных модулей и S-функций в математическом программном пакете Matlab, но в приложениях нет ни одного свидетельства о регистрации программного обеспечения; при описании модифицированного метода дихотомии ничего не сказано об идеях, которые лежат в основе этого метода, а лишь указаны его достоинства и преимущества; автор не продемонстрировал возможности разработанного ПИД-регулятора для объектов управления высоких порядков и его сравнение с классическими регуляторами, например релейными или другими; в диссертации и автореферате ничего не сказано о методах автоматического дифференцирования, которые в последнее время начали активно разрабатывать некоторые зарубежные компании и встраивать в различные пакеты программ; отсутствует информация о реализации интерфейса оператора для SCADA-системы с параметрами алгоритма ЦДС на основе скользящей квадратичной аппроксимации и псевдообратных матриц; недостаточно уделено внимания рекомендациям для практической реализации полученных решений задачи цифрового дифференцирования сигналов и синтезированных алгоритмов; в автореферате указано, что предложен оригинальный способ регуляризации простейшего алгоритма ЦДС, основанный на использовании псевдообратных матриц и псевдорешений систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), но нет определения псевдообратной матрицы и не указан какой был использован алгоритм для ее вычисления; при описании нового способа регуляризации (уравнения Вольтерра) недостаточно подробно описан выбор параметра регуляризации, не четко обоснована его привязка к относительным ошибкам задания дифференцируемого сигнала и паспортным данным измерительного устройства; 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 и то в общих чертах; в автореферате не приводятся положения нетрадиционного подхода к постановке и решению задачи синтеза методов ЦДС, основанного на ее сведении к решению недоопределенной СЛАУ; в автореферате приводятся некоторые результаты аналитических исследований, разработанных алгоритмов, которые представлены в виде числовых значений и таблиц, наглядней было бы проиллюстрировать результаты в виде графических зависимостей; в диссертации крайне мало материалов, визуализирующих процессы регулирования на конкретных объектах управления, при этом акты внедрения имеются, нет моделей в Matlab Simulink, реализующих алгоритмы ЦДС и нет характеристик технических средств автоматизации, в которых эти алгоритмы функционируют; объект управления в автореферате описывается моделью (формула 15) с точно известными коэффициентами  $\alpha$ , что является очень серьезным ограничением при решении практических задач, необходим анализ влияния неопределенности этих коэффициентов на показатели эффективности предложенного метода.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н., доцент Горюнов А.Г. является известным ученым в области теории автоматического и автоматизированного управления, математического обеспечения систем автоматизированного управления производственными установками; д.т.н., профессор Мышляев Л.П. является авторитетным и общепризнанным специалистом в области автоматизации производственных процессов; д.т.н., профессор Ченцов С.В. является известным ученым в области автоматизации и управления технологическими процессами, разработки специализированных технических средств автоматизации, область деятельности - цифровые системы управления, алгоритмическое обеспечение информационных систем управления. Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Новосибирский государственный технический университет имеет высококвалифицированных специалистов и общепризнанные достижения в области автома-

тизации технологических и производственных процессов, теории автоматизированного и автоматического управления. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют достаточный объем публикаций по тематике диссертации в ведущих изданиях и способны аргументированно оценить и обосновать научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны:**

- новые методы и алгоритмы цифрового дифференцирования сигналов, позволяющие на их основе создавать автоматические регуляторы для АСУТП, обладающие высокой помехоустойчивостью, точностью и быстродействием.
- новые методы регуляризации алгоритмов ЦДС и плохо обусловленных СЛАУ.

**предложены:**

- модифицированный алгоритм Грама-Шмидта для АСУТП, в которых объект управления является многомерным объектом с целью повышения точности регулирования, отличающийся тем, что измеренные значения переменных обрабатываются последовательно, в режиме реального времени, что позволяет обеспечивать заданную точность решения СЛАУ по отношению к ошибкам задания ортонормируемых векторов и ошибкам вычисления решений.
- новый подход к разработке систем автоматического регулирования процессов и объектов, основанный на использовании концепции обратных задач динамики и применении дифференциальных или разностных уравнений, описывающих связи между значениями регулируемой переменной объекта и управляющих воздействий, формируемых регулятором.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов адаптивного управления, аппарат вычисления псевдорешений СЛАУ, методы решения некорректных задач, оптимизационные методы, статистические методы;

**изложены** следующие методы: 1) метод ЦДС, основанный на применении многоточечного оценивания неизвестных величин по результатам их экспериментальных измерений и псевдообратных матрицах, 2) методы регуляризации плохо обусловленных СЛАУ, 3) модифицированный метод дихотомии; для всех разработанных методов созданы реализующие их модели и алгоритмы, обеспечивающие повышение эффективности информационно-измерительных подсистем АСУТП, 4) метод и алгоритм автоматизированного определения интервалов стационарности процессов, основанный на применении алгоритма ЦДС с использованием значений сигналов и их производных;

**проведена модернизация** метода дихотомии и алгоритма Грама-Шмидта и Уилкинсона, что позволяет создавать автоматические регуляторы, обеспечивающие реализацию ТП с высокой помехоустойчивостью, точностью и быстродействием.

**Значение полученных соискателем результатов для практики** подтверждается тем, что разработанные методы, алгоритмы и программное обеспечение внедрены в деятельность следующих организаций: АО «ЭлеСи» (г. Томск) для решения задачи определения стационарности процессов протекающих в магистральных нефтепроводах и точной идентификации момента времени начала переходного процесса из стационарного режима в нестационарный предотвращая переход АСУТП в аварийный режим, там же на основе синтезированных алгоритмов ЦДС изготавливаются и применяются автоматические регуляторы; филиал ООО «Вторчермет НЛМК Сибирь» в г. Томске, разработан и программно реализован адаптивный регулятор, основанный на использовании концепции обратных задач динамики, интегрированный в АСУТП прессом «Lindeman LIS-616»; Акционерное общество «Сибирская Аграрная Группа «Мясопереработка» (г. Томск) разработан, изготовлен и интегрирован в устройство управления ТП коптильно/варочными камерами «Maunting» ПИД-регулятор на основе алгоритма ЦДС для решения задачи контроля за критическими отклонениями регулируемых параметров и предупреждения нештатных ситуаций; ОАО АКБ «Якорь-2»



(г. Москва) разработан ПИД-регулятор для решения задачи управления транзисторным преобразователем частоты для системы автономного генерирования электроэнергии для воздушных судов Ту-214 в динамических режимах;

**создано** программное, математическое и алгоритмическое обеспечение методов и алгоритмов ЦДС, методов регуляризации алгоритмов ЦДС и плохо обусловленных СЛАУ, позволяющее повысить помехоустойчивость, быстродействие и точность регулирования сложных АСУТП.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

что обоснованность и достоверность результатов обеспечивается применением строгих математических методов решения задач, использованием современных технологий разработки программного обеспечения, тестированием всех программных модулей, экспериментальным исследованием предложенных алгоритмов, а также результатами их внедрения и эксплуатации;

**установлено** соответствие результатов численных расчетов экспериментальным данным и решениям, представленным в литературных источниках, а также полученным с использованием классических методов и стандартных математических пакетов.

**Личный вклад соискателя состоит** в формулировании целей и задач исследования, в самостоятельной разработке предложенных методов и алгоритмов, в непосредственном участии в разработке программного обеспечения и во внедрении результатов. Все результаты, составляющие научную основу диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания.

1. Нет сравнительных характеристик разработанных автором алгоритмов ЦДС с фильтром Калмана, при этом во многих АСУТП он успешно применяется.
2. Все экспериментальные исследования проводились только для двух типов распределения помех.
3. Не ясно как себя поведет система управления с предложенным ПИД-

регулятором относительно типовых решений с цифровыми регуляторами при исследовании грубости системы. Например, при изменении параметров объекта управления в пределах  $\pm 20\%$ .

4. Не понятно, как в АСУТП магистральными трубопроводами в подсистеме автоматизированного определения интервалов стационарности процессов оператор АСУТП самостоятельно может выбирать доверительные интервалы стационарности.

5. В диссертации ничего не сказано о методах автоматического дифференцирования, которые в последнее время начали активно разрабатывать некоторые зарубежные компании и встраивать в различные пакеты программ и нет сравнения с ними.

6. Нет описания нетрадиционного подхода к постановке и решению задач синтеза методов ЦДС, основанного на ее сведении к решению недоопределенной СЛАУ. Сказано, что он является принципиально новым и позволяет получить не только все известные методы оценивания неизвестных величин по их непосредственным и косвенным экспериментальным измерениям, но и синтезировать сколь угодно много методов подобного назначения, а суть подхода не изложена.

7. Иллюстрация результатов аналитических исследований предлагаемого нового метода ЦДС, основанного на использовании многоточечного оценивания неизвестных величин по их экспериментальным измерениям, приводится только в виде числовых значений, что затрудняет их восприятие и анализ. Наглядней было бы проиллюстрировать преимущества этого метода в виде графических зависимостей.

8. Из диссертации не ясно как изменятся показатели грубости систем автоматического управления при применении предложенных в диссертации алгоритмов, таких как алгоритм цифрового дифференцирования и алгоритм с адаптивным регулятором.

Соискатель Майстренко А.В. в процессе дискуссии дал исчерпывающие

квалифицированные ответы на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, которые полностью удовлетворили членов совета.

На заседании 26 декабря 2024 г. диссертационный совет принял следующее заключение: за решение научно-технической проблемы повышения помехоустойчивости, точности и быстродействия управляющих и информационно-измерительных подсистем АСУ ТП, имеющей важное хозяйственное значение, присудить Майстренко Андрею Васильевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

«27» декабря 2024 г.



Ю.А. Шурыгин

Т.Н. Зайченко