

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.377.04 (Д 212.217.07),  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

О присуждении Бочкареву Андрею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов обработки сигналов в информационно-измерительных системах хроматографического анализа» по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы принята к защите 21 октября 2022 г., протокол № 4, диссертационным советом 24.2.377.04 (Д 212.217.07), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказом Минобрнауки РФ №1119/нк от 16 ноября 2017 г.

Соискатель Бочкарев Андрей Владимирович, 1994 года рождения, в 2022 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», до 01.09.2021 работал преподавателем, на текущий момент работает старшим преподавателем кафедры «Информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Сайфуллин Раухат Талгатович, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

**Официальные оппоненты:**

Воловач Владимир Иванович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», заведующий кафедрой «Информационного и электронного сервиса», г. Тольятти;

Печерская Екатерина Анатольевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника и метрология», г. Пенза

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация,**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, в своем положительном заключении, подписанным И.А. Платоновым (декан физического факультета, заведующий кафедрой химии, д.т.н., профессор); А.И.

Данилиным (заведующий кафедрой радиотехники, д.т.н., доцент) и утверждённом А.Б. Прокофьевым (первый проректор - проректор по научно-исследовательской работе, д.т.н., профессор), указала, что диссертация представляет собой самостоятельную, завершённую научно-квалификационную работу, обладающую признаками новизны, актуальности и практической значимости.

Соискатель имеет 21 опубликованную научную работу по теме диссертации, среди которых 6 статей в рецензируемых изданиях, 3 статьи, индексируемые в МБ Scopus. Опубликованные работы содержат описание разработанной модели хроматографического пика: «комбинированная гауссиана»; алгоритмическое обеспечение методов вычисления сглаженных производных и вейвлет-преобразований, метода аппроксимации хроматографических сигналов в базисе функций Чебышева-Эрмита, метода вейвлет-аппроксимации хроматографических сигналов на базе моделей Грамм-Шарлье и комбинированной гауссианы. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Суммарный объем публикаций по диссертационной работе с участием соискателя составляет 10,31 печатных листов, объем работ, написанных единолично, составляет – 1,25 печатных листа.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. **Бочкарев А.В.** Повышение точности количественного хроматографического анализа с помощью новой модели пика / **А.В. Бочкарев** // Автоматизация в промышленности, №7 (2022) – Москва: Издательский дом «ИнфоАвтоматизация», 2022. – с. 36-41.

2. **Бочкарев А.В.** Сглаживание хроматографических сигналов путем их аппроксимации в базисе функций Чебышева-Эрмита / **А.В. Бочкарев**, Р.Т. Сайфуллин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». Том 30. Выпуск №1 – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2022. – с. 75 -89.

3. **Bochkarev A.V.** Resolving of Overlapping Asymmetrical Chromatographic Peaks by Using Wavelet-Transform and Gram-Charlier Peak Model / **A.V. Bochkarev** // Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Automatics and Energy (ICAE 2021), 7-8 October 2021, Vladivostok. – Vladivostok, 2021 – vol. 2096. – p. 012068. – doi:10.1088/1742-6596/2096/1/012068

4. **Bochkarev A.V.** Deconvolution of signals of analytical devices in the basis of Chebyshev-Hermite functions / **A.V. Bochkarev** // 2021 International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), 21-24 September 2021, Samara. – Samara, 2021. – pp. 1-4. – doi: 10.1109/ITNT52450.2021.9649090

5. Сайфуллин Р.Т. Алгоритм вычисления коэффициентов вейвлет-преобразования сигналов с использованием базиса функций Чебышева-Эрмита / Р.Т. Сайфуллин, **А.В. Бочкарев** // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2019. – Выпуск №4(64). – с. 113-124.

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы.**

1. Отзыв ведущей организации ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара. В отзыве приведены следующие замечания: в работе рассматриваются методы обработки сигналов только для газовых хроматографов и не рассматриваются аналогичные методы для высокоэффективных жидкостных хроматографов, что сужает их область применения; малое внимание уделено коррекции динамической погрешности, вызванной инерционностью хроматографического детектора по теплопроводности, наиболее распространенного в газовой хроматографии; при оценке погрешностей методов определения параметров совмещенных хроматографических

пиков не учитывается влияние шумов хроматографического детектора; не оценена погрешность, вызванная в информационно-измерительной системе хроматографического анализа дрейфом параметров аппаратных функций детектора и хроматографической колонки; в диссертационной работе слишком много внимания уделено описанию известных методов аппроксимации сигналов, методов вейвлет - преобразования.

2. Отзыв официального оппонента д.т.н., доцента Воловача Владимира Ивановича, в котором содержатся следующие вопросы и замечания: первая глава содержит достаточно подробный анализ существующих методов обработки хроматографического сигнала, но в ней отсутствуют достаточно конкретные выводы и постановка задачи исследований; не очень удачно скомпонованы материалы работы, в частности, разделы 2.1 и 2.2 фактически относятся к обзорной части раздела 1; в главе 2 недостаточно обоснован выбор базисных функций Чебышева-Эрмита для аппроксимации хроматографического сигнала; в разделе 2.3 работы описано использование аппроксимации хроматографического сигнала по методу трапеций, но непонятна цель аппроксимации – используется ли этот метод для сглаживания сигнала, или для определения площади хроматографического пика; сомнительно утверждение (с. 13), что длина хроматографической колонки может достигать несколько тысяч метров; разработанный в диссертационной работе метод разделения наложенных хроматографических пиков сравнивался лишь с одной из вариаций нейросетевого метода, применимого для решения рассматриваемой задачи; коррекция базовой линии хроматографических сигналов осуществлена в работе существующим методом, основанным на сочетании второй производной исходного сигнала с его аппроксимацией методом наименьших квадратов; при разработке структуры информационно-измерительной системы хроматографического анализа не уделено внимание выбору компонентов для аналитической части; в работе не рассмотрена возможность использования разработанных методов первичной обработки хроматографических сигналов в качестве алгоритмического обеспечения для обработки сигналов промышленно выпускаемых информационно-измерительных систем (ИИС) хроматографического анализа, без использования представленной в работе структуры ИИС.

3. В отзыве официального оппонента д.т.н., доцента Печерской Екатерины Анатольевны указаны следующие замечания: сглаживающие свойства разработанного в диссертационной работе метода аппроксимации хроматографических сигналов исследованы только в сравнении с цифровым фильтром скользящего среднего; разработанные автором методы первичной обработки хроматографических сигналов не позволяют оператору систем хроматографического анализа в случае неверно подобранного режима работы такой системы получить информацию о возможных изменениях в режиме работы системы с целью повышения точности определения информативных параметров; в описании разработанного автором алгоритмического обеспечения метода аппроксимации хроматографических сигналов отсутствуют данные о формируемом результате работы данного алгоритма, если какое-либо из условий выхода из него не будет выполнено; на с. 19 не определено, почему ширина Гауссова пика выбирается в пределах  $\pm 2\sigma$ , так как обычно в технических приложениях ширина такого пика выбирается в пределах  $\pm 3\sigma$ ; не оценена погрешность дрейфа детектора и хроматографической колонки; слишком часто в тексте встречаются аббревиатуры, определенные в других разделах работы, что затрудняет ее изучение; качество выполнения некоторых иллюстраций затрудняет их восприятие, в частности слишком мелкий масштаб рис. 4.4, рис. 4.5; в выражении (4.2) пропущено умножение на 100 %, хотя ответ выражен в процентах; в пояснении к выражению (4.39) не указано, что означает параметр  $\tilde{S}$ ; рисунок 4.1 обозначен «Структурная модель

измерительного канала информационно-измерительной системы хроматографического анализа», но по сути на нем представлена метрологическая структурная модель измерительного канала системы; в разделе 4.1.1 анализ инструментальной погрешности модель аналого-цифрового преобразователя учитывает только аддитивную погрешность  $\Delta_{АЦП}$  и не пояснено, почему не рассмотрены мультипликативная и нелинейная составляющая погрешности АЦП.

**На автореферат диссертации поступили 7 отзывов.**

1. Отзыв доцента кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (г. Ижевск), к.т.н., доцента Богдан О.П. Замечания касаются возможности возникновения осцилляций на границах фрагментов при применении метода аппроксимации хроматографических сигналов.

2. Отзыв доцента кафедры «Информатика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург), к.т.н. Григорьевой А.В. Замечания касаются трудоемкости вычислений в разработанных методах и отсутствия их программной реализации.

3. Отзыв начальника Поволжского отделения Секции прикладных проблем (при СамНЦ РАН) (г. Самара), д.т.н., профессора Леоновича Г.И. Замечания касаются ограничений разработанной модели хроматографического пика и возможных неточностей в выборе границ фрагментов сигнала на этапе аппроксимации.

4. Отзыв профессора кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань), д.х.н., профессора Новикова В.Ф. Замечания касаются выбора высоты пика в качестве информативного параметра, учета процессов сорбции и десорбции в хроматографической колонке разработанными методами, а также условий анализа и влияния блоков структуры ИИС на инструментальную погрешность.

5. Отзыв заведующего кафедрой «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов), профессора, д.т.н. Фролова С.В. Замечания касаются трудоемкости вычислений разработанных методов и выбора модели при обработке сигналов.

6. Отзыв начальника отдела метрологии и сервиса – главного метролога АО «Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке» (г. Новокуйбышевск), к.т.н. Занозина И.Ю. Замечание касается трудоемкости вычислений в разработанных методах.

7. Отзыв ведущего научного сотрудника лаборатории сорбционных методов ФГБУН «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН)» (г. Москва), д.т.н. Долгоносова А.М. Замечания касаются недостаточного исследования параметров базовой линии и неточностей в отражении блок-схем алгоритмов.

Все отзывы положительные, отмечается актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Бочкарева А.В. требованиям Положения о присуждении ученых степеней, указывается, что ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается многолетним опытом работы, высокой компетентностью в области информационно-измерительных и управляющих систем и соответствием научных интересов тематике диссертации, что

подтверждается публикациями в научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** новая информационно-измерительная система хроматографического анализа и ее алгоритмическое обеспечение, позволяющие повысить достоверность хроматографического анализа путем снижения погрешности определения площади асимметричных хроматографических пиков;

**предложены** оригинальные методы первичной обработки хроматографических сигналов, функционально ориентированные на применение в информационно-измерительных системах хроматографического анализа;

**доказана** эффективность разработанных методов первичной обработки хроматографических сигналов путем экспериментального исследования погрешностей определения площади экспериментальных хроматографических пиков;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** целесообразность применения разработанных методов первичной обработки хроматографических сигналов при их сглаживании и разделении наложенных асимметричных пиков различной конфигурации;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы:** непрерывное вейвлет-преобразование сигналов; производные сигналов высших порядков; модели хроматографического пика в виде функций: Гаусса, би-гауссианы и Грамм-Шарлье; метод разложения сигнала по ортогональной системе функций; методы статистических исследований для определения закона распределения случайной помехи; программные средства: Хроматэк Аналитик для извлечения экспериментальных хроматографических сигналов в ходе экспериментального исследования, Wolfram Mathematica для разработки алгоритмического обеспечения, вычислительных экспериментов и имитационного моделирования;

**изложены** теоретические методы аппроксимационной обработки хроматографического сигнала, в том числе сглаживания посредством аппроксимации сигнала системой ортогональных функций; методы вейвлет-аппроксимации асимметричных хроматографических пиков с применением новой модели;

**раскрыты** существенные особенности методов первичной обработки хроматографических сигналов с целью получения количественных результатов аналитического исследования для разработки информационно-измерительной системы хроматографического анализа с малыми погрешностями;

**изучено** взаимодействие микропроцессорного блока обработки сигнала с аналитическими блоками информационно-измерительной системы хроматографического анализа;

**проведена модернизация** информационно-измерительной системы хроматографического анализа путем адаптации структуры ее микропроцессорной подсистемы для реализации представленных в работе методов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** информационно-измерительная система хроматографического анализа на основе новых методов первичной обработки хроматографических сигналов на предприятиях: ООО «АКСЕС автоматик» при анализе состава трансформаторных масел и масел погружных электродвигателей; в испытательной лаборатории ФБУ «Самарский

ЦСМ» при определении жирнокислотного состава, а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «СамГТУ» в качестве элементов образовательной технологии;

**определены** преимущества и перспективы разработанной информационно-измерительной системы хроматографического анализа при обработке хроматографических сигналов;

**создана** информационно-измерительная система хроматографического анализа на основе новой модели хроматографического пика, методов аппроксимации в базисе функций Чебышева-Эрмита и вейвлет-аппроксимации асимметричных хроматографических пиков;

**представлены** методы первичной обработки хроматографических сигналов, обеспечивающие по сравнению с известными повышение качества работы информационно-измерительных систем хроматографического анализа за счет уменьшения методической погрешности результатов обработки совмещенных хроматографических пиков.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** – результаты вычислительных экспериментов с применением разработанных методов не противоречат фундаментальным физическим законам и подтверждают адекватность предложенной математической модели хроматографических пиков;

**теория** построена на положениях, не противоречащих известным данным о физико-химических процессах хроматографического анализа и подтверждается экспериментальными исследованиями;

**идея базируется** на опыте эксплуатации информационно-измерительных систем хроматографического анализа;

**использованы результаты** анализа работ отечественных и зарубежных авторов, а также имитационного моделирования;

**установлено** согласование результатов обработки разработанными методами экспериментально полученных хроматограмм с результатами обработки данных имитационного моделирования;

**использованы** современные аппроксимационные методы первичного преобразования измерительных сигналов и синтеза информационно-измерительных систем хроматографического анализа.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке новой математической модели первичной обработки хроматографических сигналов и ее апробации на экспериментальных хроматографических сигналах, разработка структурной и функциональной схем ИИС хроматографического анализа и ее метрологический анализ.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания.

1. При разработке структуры ИИС хроматографического анализа не уделено внимание выбору компонентов для аналитической части ИИС.

2. В работе рассматриваются методы обработки сигналов только для газовых хроматографов, и не рассматриваются аналогичные методы для высокоэффективных жидкостных хроматографов, что сужает их область применения.

3. Сглаживающие свойства разработанного в диссертационной работе метода аппроксимации хроматографических сигналов исследованы только в сравнении с цифровым фильтром скользящего среднего.

4. При выборе математических моделей хроматографического пика не учитывались процессы сорбции и десорбции в хроматографической колонке, что в недостаточной степени определяет достоверность используемых моделей.

Соискатель Бочкарев А.В. согласился с критическим замечанием 1; на замечание 2 пояснил,

что разработанные методы применимы на газовых хроматографических системах в связи с их особенностью; ответил на замечание 3 – обосновал использование цифрового фильтра скользящего среднего при сравнении сглаживающих свойств разработанного аппроксимационного метода; по замечанию 4 более подробно пояснил, что используемые им эмпирические модели широко применяются в обработке хроматографических сигналов в отечественной и мировой практике.

На заседании № 5 от 27.12.2022 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения и разработки в области хроматографических исследований, имеющие существенное значение для развития страны, присудить Бочкареву А.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

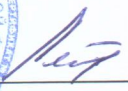
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по научной специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: «за присуждение учёной степени» – 17, «против» – 0.

Председатель диссертационного совета  
24.2.377.04 (Д 212.217.07)



  
Михаил Юрьевич Лившиц

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.2.377.04 (Д 212.217.07)

  
Екатерина Евгеньевна  
Ярославкина

27.12.2022 г.