

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.073.04

на базе федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН) по диссертации
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21 января 2021 № 1

О присуждении Ингачевой Анастасии Сергеевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 9 ноября 2020 г., протокол №2, диссертационным советом Д 002.073.04 на базе федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

Соискатель Ингачева Анастасия Сергеевна, 1990 года рождения, в 2012 году с отличием окончила факультет Вычислительной математики и кибернетики Казанского (Приволжского) федерального университета по направлению «Экономическая кибернетика», а в 2015 году получила степень магистра на кафедре Технологии моделирования сложных систем факультета Компьютерных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). С 23.10.2015 по 23.10.2019 обучалась в очной аспирантуре НИУ ВШЭ в аспирантской школе по компьютерным наукам и сдала кандидатские экзамены по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». С марта 2014 по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте про-

блем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН) в лаборатории №11 «Зрительные системы», сначала в должности инженера-исследователя, а затем в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории №11 «Зрительные системы» ИППИ РАН.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор РАН, Соболевский Андрей Николаевич, директор ИППИ РАН.

Научный консультант - кандидат физико-математических наук, Чукалина Марина Валерьевна, старший научный сотрудник лаборатории рефлектометрии и малоуглового рассеяния Института кристаллографии им А.В. Шубникова Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Чуличков Алексей Иванович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», заведующий кафедрой математического моделирования и информатики физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Отзыв оппонента положительный, имеются замечания по диссертации:

1. Наличие опечаток и неточностей в описании классических результатов компьютерной томографии – см. стр.17-20. Произвольное изменение обозначений одного и того же параметра модели (в обозначении $R(\alpha, s)$ аргумент α в формуле (1.13) переместился в индекс, на стр. 72 показатель количественной оценки чашевидных дефектов обозначен se , в далее - CE).
2. Неудачно выбрано представление результатов аппроксимации полихроматического лучевого интеграла степенной функцией – ни в подписи под рисунком 2.8, ни в тексте диссертации не даны четкие пояснения того, что же изображено на рисунке 2.8,б.

3. Было бы полезно в самом начале описания метода коррекции сказать, что строгое обоснование метода дано для однородных образцов.
2. Сенин Роман Алексеевич, кандидат физико-математических наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»), заместитель руководителя комплекса синхротронно-нейтронных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Отзыв оппонента положительный, имеются следующие замечания по диссертации:

1. Работа посвящена решению задачи коррекции искажений томографических реконструкций, вызванных повышением жёсткости полихроматического пучка при прохождении через объект. Приведённые экспериментальные данные получены на лабораторном источнике, для которого характерна высокая относительная яркость двух узких спектральных линий над пьедесталом тормозного излучения. Большой интерес представляет применимость разрабатываемых методов к более монотонному и широкому спектру синхротронного излучения. Хотелось бы видеть результаты работы метода на проекциях, полученных на синхротронном источнике на так называемом «розовом пучке» - широкополосном излучении с преобладанием низкоэнергетического излучения.
2. В работе не хватает оценок точности определения параметра функции коррекции.
3. Автору следует внимательнее относиться к размерности приводимых величин. Например, на стр. 55 приведена величина толщины сцинтиллятора 22 нм – должно быть 22 мкм, а на стр. 80, рисунке 3.7 в подписи указано, что размерность по оси абсцисс – мм, хотя из текста следует, что величины даны в сантиметрах.
4. В описании алгоритма обработки реально измеренных данных нигде не упомянута процедура коррекции входных данных на величину ошибки считывания матрицы, не описана процедура определения темнового тока де-

тектора – показаний детектора при отсутствии рентгеновского излучения. Данная величина может существенно влиять на вычисляемые значения показателя поглощения, особенно при больших величинах этого показателя.

5. Работа также выиграла бы, если бы автор дополнил алгоритмы реконструкции экспериментальных данных методами подавления кольцевых артефактов.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН)», г. Черноголовка, в своем положительном заключении, подписанном Суворовым Эрнестом Витальевичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории структурных исследований ИФТТ РАН, указал, что «Диссертационная работа Ингачевой Анастасии Сергеевны является завершенным научным исследованием, содержащим научно обоснованные программно-алгоритмические методы решения задачи компьютерной томографии в полихроматическом режиме. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и имеет практическую значимость в виде реализованного комплекса программ. Содержание диссертации Ингачевой А.С. соответствует паспорту специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» для физико-математических наук по направлениям «4 – реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента», «6 – разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурного эксперимента» и «7 – разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурного эксперимента на основе его математической модели». Диссертация Ингачевой А.С. соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней». Полученные соискателем теоретические и практические результаты и опубликованные работы позволяют сделать вывод о том, что автор хорошо знает предмет своего исследо-

вания. Текст автореферата правильно отражает содержание диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа Ингачевой Анастасии Сергеевны «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Отзыв обсужден и утвержден на семинаре ИФТТ РАН «Кристаллические структуры и фазовые превращения», протокол №5 от 23 сентября 2020 г.

Замечания:

1. Хотелось бы в работе видеть результаты сравнения разработанного метода подавления чашевидных артефактов с физическими методами, использующими изменение спектрального состава излучения для уменьшения выраженности артефактов.
2. В диссертационной работе не представлено исследование зависимости выраженности чашевидных искажений от степени немонахроматичности излучения. Исследование позволило бы уточнить диапазон применимости предложенного метода.
3. В тексте присутствуют опечатки, но в целом текст написан хорошим научным языком.

Соискатель имеет 11 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе: 5 из работ изданы в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертации, 3 – в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, 3 – в сборниках трудов конференций. Также получено свидетельство о регистрации программы для электронных вычислительных машин (ЭВМ). Наиболее значительные работы:

1. Ингачева А.С. Спектральная модель сигнала одноканальных рентгеновских измерительных приборов, использующих полихроматическое зондирующее

- излучение / С. Ингачева А. // Сенсорные системы. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 212–221.
2. Polychromatic CT data improvement with one-parameter power correction / A. Ingacheva, M. Chukalina // Mathematical Problems in Engineering. — 2019. — Vol. 2, no. 1.
 3. Методы предобработки томографических изображений с учетом термической нестабильности рентгеновской трубки / А. Ингачева, А. Бузмаков // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 1–12.
 4. Рентгеновский компьютерный томограф – новый инструмент в распознавании / Ингачева А.С., Шешкус А.В., Чернов Т.С., Лимонова Е.Е., Арлазаров В.В. // Труды ИСА РАН. – 2018. Т. Спецвыпуск. — С. 90—99.
 5. Лабораторные микротомографы: конструкция и алгоритмы обработки данных / Бузмаков А.В., Асадчиков В.Е., Золотов Д.А., Рошин Б.С., Дымшиц Ю.М., Шишков В.А., Чукалина М.В., Ингачева А.С., Ичалова Д.Е., Кривоносов Ю.С. // Кристаллография. — 2018. — Т. 63, № 6. — С. 1007—1011.
 6. Automatic Beam Hardening Correction For CT Reconstruction. / M. Chukalina M., Ingacheva A., Buzmakov A., Polyakov I., Gladkov A., Yakimchuk I., Nikolaev D. // 31st European Conference on Modelling and Simulation. – 2017. – С. 270–275. – Web of Science, Scopus.
 7. Method preprocessing data acquired in tomography experiment / Ingacheva A., Buzmakov A., Polyakov I., Gladkov A., Chukalina M. // Synchrotron and Free electron laser Radiation: generation and application (SFR-2018). Novosibirsk, Russia, June 25 –28. – 2018. – С. 35.
 8. Method for numeric estimation of Cupping effect on CT images / A. Ingacheva A., Chukalina M., Buzmakov A., Nikolaev D. // 2019 International Conference on Machine Vision. – 2020. – С. 1143331. – Web of Science, Scopus.

На автореферат поступило шесть положительных отзывов, которые подписали:

1. Гладилин Сергей Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории № 11 «Зрительные системы» Институ-

та проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.

Замечания:

1. Применение не русского, а английского языка в псевдокоде алгоритма количественной выраженности чашевидных артефактов (стр.14).
 2. Низкое качество (иногда - почти до нечитаемости) рисунков в автореферате.
2. Лернер Эдуард Юльевич, кандидат физико-математических наук (специальность 01.01.01, математический анализ), доцент кафедры анализа данных и исследования операций отделения фундаментальной информатики и информационных технологий Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ. Замечания:

1. Наличие абзацных отступов перед пояснениями после пары выносных формул (вызванное видимо вставкой лишних строк в TeX).
 2. Отсутствие комментариев в тройных апострофах после тела функций, оформленных в NumPy.
3. Виктор Евгеньевич Асадчиков, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией рефлектометрии и малоуглового рассеяния Института кристаллографии им А.В. Шубникова Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН). Замечаний нет.
4. Зайцев Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Лаборатории теоретической физики Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН. Замечания:
1. Хотелось бы видеть в тексте оценку вычислительной сложности алгоритма коррекции проекций, чтобы оценить пределы применимости предлагаемого подхода.
 2. Хотелось бы видеть как меняется результат применения алгоритма коррекции проекций а) от изменения состава зондируемого объекта при сохране-

нии спектра и б) от изменения состава спектра при сохранении состава объекта.

5. Чичева Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры геоинформатики и информационной безопасности института информатики, математики и электроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева». Замечания:

1. Не сказано какие формулы использовались для расчета силы тормозного и характеристического излучения.
2. Описание разработанного алгоритма поиска параметра функции коррекции дано недостаточно подробно.

6. Шелков Георгий Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Замечания:

1. Подписи к рисунку 2а) выполнены слишком мелким шрифтом.
2. Не указаны результаты по скорости работы программ обработки и фильтрации, в чем есть большой практический смысл.
3. Хотелось бы видеть больше конкретных применений как для метода, так и для результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области рентгеновской компьютерной томографии, синхротронно-нейтронных исследований, методов математического моделирования, цифровой обработки и анализа изображений, что подтверждается направлениями их исследований и публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработан алгоритм количественной оценки выраженности чашевидных артефактов. Показано, что результат применения разработанного метода согласуется с профилем восстановленного изображения. **Разработан** алгоритм автоматического определения параметра корректирующей функции при неизвестных составе образца и спектре излучения. Показано, что в случае образца,

состоящего из единственного вещества, найденный алгоритмом параметр позволяет получить восстановленное изображение с подавленными чашевидными артефактам. **Доказано**, что функции, описывающие лучевые полихроматические интегралы – положительные, выпуклые, строго возрастающие. Показано, что для аппроксимации этих интегралов целесообразно применять семейство степенных функций.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- впервые **изучена** спектральная модель оптического тракта рентгеновского томографа. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными измерениями показало, что отклик рентгеновского томографа хорошо описывается спектральной моделью,
- **доказаны** теорема и утверждения, устанавливающие свойства полихроматических лучевых интегралов. Из них следует, что функции полихроматических лучевых интегралов являются положительными строго возрастающими выпуклыми вверх функциями,
- впервые **исследовано** влияние на точность однокомпонентной модели учета полихроматического зондирования при известных спектре излучения источника, чувствительности детектора и составе образца.

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

- **разработаны** алгоритм количественной оценки выраженности чашевидных артефактов и алгоритм автоматического определения параметра корректирующей функции при неизвестных составе образца и спектре излучения,
- **создан** комплекс программ, который позволяет проводить вычислительные эксперименты по рентгеновской томографии в полихроматическом режиме, а также тестировать различные вычислительные методы реконструкции,
- **представлены** рекомендации для обработки экспериментальных томографических данных, зарегистрированных с использованием полихроматического излучения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теория построена на известных, проверяемых данных, фактах, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации,
- показана воспроизводимость результатов экспериментов,
- установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике,
- результаты работы прошли апробацию на профильных научных конференциях и семинарах.

Личный вклад соискателя состоит в:

- выводе формул, доказательстве утверждений,
- разработке алгоритмов,
- апробации результатов исследования,
- обработке и интерпретации экспериментальных данных.

На заседании 21 января 2021 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, и принял решение присудить Ингачевой А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 35 человек, из них 13 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 42 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 35, против присуждения ученой степени 0.

Председатель диссертационного совета Д 002.073.04

д.т.н., академик РАН



Ю.С. Попков

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.073.04

д.т.н., профессор

В.Н. Крутько

21 января 2021 г.