



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИФТТ РАН

доктор физ.-мат. наук Левченко А. А.

«14 декабря» 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ингачевой Анастасии Сергеевны
«Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии
в полихроматическом режиме», представленную
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ.

Методы рентгеновской томографии широко используются в различных областях медицины, науки, техники для исследования внутренней структуры объектов без нарушения их целостности. Непрерывно совершенствуются методика и аппаратура, рентгеновской томографии. Диссертационная работа Ингачевой Анастасии Сергеевны «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» направлена на развитие метода рентгеновской томографии в случае применения лабораторных источников излучения, которые имеют широкий энергетический спектр и относительно невысокую интенсивность пучка. В томографах с лабораторными источниками рентгеновского излучения обычно используются аналитические методы реконструкции. Это связано в первую очередь с их быстродействием. Однако они дают хороший результат только при достаточном количестве экспериментальных проекций с невысоким уровнем шума и в предположении, что зондирующее излучение монохроматичное. Однако лабораторные источники рентгеновского излучения как правило не соответствуют описанным выше условиям. В результате на реконструированных изображениях возникают разнообразные искажения. Поэтому разработка новых методов, которые не требуют монохроматичности источника и имеют высокую точность и быстродействие, несомненно, является актуальной.

Диссертация А.С. Ингачевой имеет традиционную структуру и состоит из введения, пяти глав и заключения. Основной текст работы изложен на 144 страницах. Список литературы содержит 128 наименований.

Автором диссертации предложен метод, позволяющий свести задачу томографии в полихроматическом режиме к классической задаче (монохроматической) вычислительной томографии. Основу метода составляет однопараметрическая модель учета полихроматичности, алгоритм которого разработан автором. В работе используется метод количественной оценки выраженности артефактов на восстанавливаемых изображениях.

Используемая в диссертации методика позволяет не только уточнять значение параметра выраженности артефактов в тех случаях, когда это требуется, но также сравнивать между собой разные алгоритмы реконструкции. Диссертантом реализован комплекс программ для проведения численных экспериментов и обработки результатов измерений.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, сформулированы обоснование актуальности проведенного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, положения выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы сформулирована постановка задачи вычислительной рентгеновской томографии, описаны принципы работы основных узлов томографа, их вклад в формирование рентгеновского сигнала позиционно-чувствительного детектора. Диссертант приводит описание чашевидных артефактов, возникающих при полихроматическом зондировании томографируемых объектов на восстанавливаемых изображениях, и дает интересную классификацию существующих методов их подавления.

Во второй главе исследуется спектральная модель рентгеновского томографа (источатель, система фильтров, объект и детектор с непрямой регистрацией квантов). Модель учитывает ослабление рентгеновского излучения за счет поглощения, при этом остальными эффектами пренебрегается, ввиду их малости. Для оценки адекватности модели автор использует данные, лабораторного микротомографа ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН. Приводятся оценки отклонения предсказаний модели от экспериментальных данных.

Для рассматриваемой спектральной модели введены такие понятия как лучевая плотность, монохроматический и полихроматический лучевые интегралы. Проведенные исследования позволили автору сформулировать свойства полихроматических лучевых интегралов. Введено понятие корректирующей функции и сформулированы ее свойства. Численным экспериментом продемонстрировано, что класс однопараметрических степенных функций хорошо аппроксимирует полихроматические лучевые интегралы.

Третья глава диссертационной работы посвящена проблеме количественной оценки параметров чашевидных артефактов. Предложен алгоритм для оценки выраженности. Работоспособность алгоритма продемонстрирована на синтетических данных.

В четвертой главе описан метод полихроматических данных, предложенный автором, заключающийся в независимом применении корректирующей функции к каждому измеренному значению. Показано, что использование метода предобработки

позволяет уменьшить (в случае многокомпонентного объекта) или полностью устранить (в случае однокомпонентного объекта) артефакты реконструкции. Точность модели с однопараметрическим семейством показательных корректирующих функций исследована на модельных данных. Автором предложен метод автоматического определения параметра модели при неизвестном составе образца, основанный на интегральном инварианте преобразования Радона.

Пятая глава диссертационной работы посвящена описанию разработанного комплекса программ, который предназначен для выполнения численных экспериментов и работы с измеренными томографическими данными. Программный комплекс состоит из модулей имитационного моделирования проекций, томографической реконструкции, модуля оценки выраженности артефактов и визуализации. Комплекс программ также позволяет оценивать уровень подавления чашевидных искажений новыми и вновь создаваемыми методами и алгоритмами.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. Научная новизна исследования и полученных результатов. Задача томографической реконструкции в полихроматическом режиме без использования эталонов исследована впервые. Все полученные результаты диссертационной работы Ингачевой Анастасии Сергеевны являются новыми. Впервые исследована спектральная модель оптического тракта томографа с лабораторным источником излучения и показано, что зарегистрированный на лабораторном томографе сигнал хорошо ею описывается. Впервые доказано, что функции, описывающие лучевые полихроматические интегралы являются положительными, выпуклыми, строго возрастающими. Впервые исследована точность степенной однопараметрической модели учета полихроматичности при известном составе образца, спектре излучения источника и чувствительности детектора. Предложен метод автоматического поиска параметра модели при неизвестных методах регистрации сигнала и неизвестном составе образца, опирающийся на интегральный инвариант преобразования Радона.

Значимость полученных результатов заключается в возможности использования результатов в программной части существующих и вновь создаваемых лабораторных аппаратно-программных томографических комплексов (томографов), а также в расширении границ применимости метода вычислительной рентгеновской томографии вследствие повышения качества изображений, восстанавливаемых с использованием созданных алгоритмов.

Текст диссертационной работы написан ясным, хорошим языком, содержит четкую постановку задачи и богатую библиографию. Основные результаты изложены ясно и опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Апробация полученных результатов. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 11 печатных изданиях, 5 работ изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 3 – в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, 3 – в тезисах докладов. Получено свидетельство о регистрации программы для электронных вычислительных машин (ЭВМ). Результаты докладывались на 6 конференциях: 4 - международные и 2 - всероссийские.

Как и любая большая работарассматриваемая диссертация не лишена некоторых неточностей, погрешностей. Однако приведенные ниже замечания носят скорее характер пожеланий на будущее.

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.

Указанные выше замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертации. Это в основном пожелания на будущее.

Диссертационная работа Ингачевой Анастасии Сергеевны является завершенным научным исследованием, содержащим научно обоснованные программно-алгоритмические методы решения задачи компьютерной томографии в полихроматическом режиме. Диссертация содержит новые научные результаты и имеет практическую значимость в виде реализованного комплекса программ. Личный вклад соискателя не вызывает сомнений.

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 натурального эксперимента» и «7 – разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели».

Диссертация по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, их достоверности и новизне соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней (п.9 - п. 14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а её автор Ингачева А.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

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 её автор Ингачева А.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Автореферат диссертации адекватно отражает содержание работы.

Отзыв обсужден и утвержден на семинаре ИФТТ РАН «Кристаллические структуры и фазовые превращения», протокол №51 от 23 сентября 2020 г.
«14» декабря 2020 г.

Отзыв подготовил
Главный научный сотрудник Лаборатории структурных исследований доктор физико-математических наук
Суворов Эрнест Витальевич (suvorov@issp.ac.ru)



Руководитель семинара
«Кристаллические структуры и фазовые превращения при нормальном и высоких давлениях» Заведующий лабораторией структурных исследований ИФТТ РАН доктор физико-математических наук
Аронин Александр Семенович (aronin@issp.ac.ru)



Адрес ведущей организации:
142432, Россия, г. Черноголовка, Московская обл.,
ул. Академика Осипьяна д.2.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН)»
e-mail: adm@issp.ac.ru