

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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».

Актуальность темы исследований

Развитие неразрушающих рентгеновских методов исследования внутренней структуры объектов разной природы с использованием синхротронного и нейтронного излучений является актуальной задачей в реализации государственных программ «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642), «Федеральная научно-техническая программа развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019 - 2027 годы» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 16 марта 2020 г. № 287). Диссертационная работа Ингачевой А.С. посвящена вопросам исследования свойств новых моделей формирования томографических проекций и созданию методов рентгеновской томографии в полихроматическом режиме, которые позволяют уменьшить выраженность артефактов, обусловленных немонахроматичностью зонда. Томографические методы в своем развитии двигаются в сторону метрологии, и рассмотренный в работе вопрос оценки выраженности артефактов, является своевременным. Созданные алгоритмы применимы для работы с данными, собранными как на лабораторных источниках рентгеновского излучения, так и на станциях

действующих и вновь создаваемых источников синхротронного излучения. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной и отвечает современным технологическим тенденциям.

Структура работы и ее содержание

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 144 страницы, список литературы состоит из 128 источников.

Во введении диссертационной работы приведено обоснование актуальности темы работы, сформулирована цель диссертационного исследования и перечислены задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели. Обоснована своевременность проведенного исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе работы соискатель приводит описание узлов современных томографов с лабораторным источником рентгеновского излучения, которые задействованы в формировании томографической проекции. Приведена модель формирования регистрируемого изображения. Показано, что данная модель не соответствует модели, описывающей входные данные в классической постановке задачи томографии. Приведен полный и исчерпывающий обзор исследований, направленных на подавление артефактов, возникающих из-за использования классических алгоритмов реконструкции при зондировании полихроматическим рентгеновским излучением. Обоснован выбор метода работы с проекциями, исследование и развитие которого описаны в диссертационной работе.

Во второй главе исследована спектральная модель оптического тракта рентгеновского томографа. Несмотря на то, что в модели рассматривались

только эффекты поглощения (остальными эффектами пренебрегалось, как эффектами второго порядка), результаты моделирования с учетом полихроматичности излучения показали лишь незначительные отклонения от экспериментальных зарегистрированных данных лабораторного микротомографа. При этом использование монохроматической модели для описания зависимости ослабления рентгеновского излучения от толщины поглотителя показало существенно меньшую точность аппроксимации. Введены понятия монохроматических и полихроматических интегралов, показана их связь через функцию коррекции. Определен вид функции коррекции, который используется в дальнейшем для подавления чашевидных артефактов, одного из видов артефактов, возникающих из-за использования полихроматического рентгеновского излучения.

В третьей главе представлена постановка задачи количественной оценки выраженности чашевидных артефактов. В деталях описан разработанный алгоритм вычисления количественной оценки выраженности артефактов. Алгоритм является полуавтоматическим, так как требует предварительного создания маски объектов изображения. В главе сформулированы свойства разработанного алгоритма и приведено сравнение результатов работы алгоритма с результатами методов, применяемых сегодня в мире.

В четвертой главе предложен метод предварительной коррекции изображений, зарегистрированных с использованием полихроматического излучения. Метод предназначен для уменьшения выраженности чашевидных артефактов на восстановленных изображениях и заключается в попиксельной обработке зарегистрированных данных с помощью корректирующей функции перед применением классического алгоритма томографической реконструкции. Приведено описание разработанного алгоритма автоматического поиска параметра функции коррекции, основанного на свойстве инвариантности

интеграла преобразования Радона. Методом численного моделирования исследованы границы применимости разработанного алгоритма.

В пятой главе описан комплекс программ, предназначенный для проведения вычислительных экспериментов по рентгеновской томографии в полихроматическом и монохроматическом режимах и для тестирования методов подавления артефактов. Модуль программного комплекса «Томографическая реконструкция» может быть использован как отдельная самостоятельная программа для обработки экспериментальных данных, полученных на томографах с лабораторным источником излучения и в синхротронных центрах.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы, которые обозначены в выводах каждой главы.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. предложена спектральная модель оптического тракта томографа с полихроматическим зондированием;
2. сформулирована и доказана теорема, которая утверждает, что функции, описывающие лучевые полихроматические интегралы, – положительные, выпуклые вверх, неубывающие;
3. разработан метод количественной оценки выраженности чашевидных артефактов, не зависящий от числа и яркости объектов;
4. предложен алгоритм автоматического определения параметра корректирующей функции, который не требует никакой априорной информации ни о составе образца, ни о спектре излучения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Все положения диссертации детально описаны и научно обоснованы. Все выводы напрямую следуют из описанных положений. Достоверность результатов, полученных соискателем, подтверждается экспериментальными данными, предоставленными в диссертационной работе.

Практическая значимость работы

Разработанные Ингачевой А.С. методы и алгоритмы реализованы в виде программного комплекса и могут быть использованы для проведения вычислительных экспериментов по рентгеновской компьютерной томографии. Комплекс программ может быть также использован для обработки экспериментальных данных, полученных на томографических установках. В автореферате диссертации приведены данные свидетельства о государственной регистрации одного из модулей программного комплекса, соискатель указан в качестве соавтора.

Рекомендации по использованию результатов

Полученные в рамках диссертационной работы результаты представляют большой теоретический и практический интерес, и могут быть использованы для развития метода рентгеновской томографии. Алгоритмы, разработанные автором, могут быть использованы для работы с данными, собранными в лабораторных условиях и на синхротронных центрах для получения реконструированных изображений более высокого качества по сравнению с уже используемыми. Количественная оценка выраженности артефактов реконструкции позволяет не только корректно проводить анализ восстановленных изображений классическими методами, но и использовать изображения в качестве данных в нейросетевых подходах к анализу.

Публикация результатов диссертационного исследования

Основные результаты диссертационной работы представлены в 11 печатных работах, 5 из работ опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для представления результатов диссертаций, 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). Основные положения диссертации полностью соответствуют опубликованным статьям.

Замечания по работе

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 детектора – 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.

Указанные недостатки не снижают значимости полученных автором результатов.

Заключение по работе

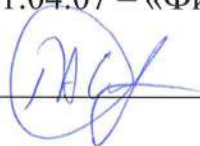
Представленная диссертационная работа свидетельствует о высокой научной квалификации автора. Научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки. С практической точки зрения результаты, полученные автором, вносят вклад в решение задачи томографии в полихроматическом режиме. Поставленная цель диссертационного исследования достигнута, и, несмотря на указанные замечания, заслуживает положительной оценки.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и отвечает требованиям ВАК РФ.

На основании предоставленных материалов диссертации и опубликованных работ считаю, что диссертация Ингачевой Анастасии Сергеевны «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в

полихроматическом режиме» является законченным научно-квалификационным трудом, выполненным под руководством доктора физико-математических наук Соболевского Андрея Николаевича и удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент: заместитель руководителя комплекса синхротронно-нейтронных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»)

 _____ /Сенин Роман Алексеевич/

«14» декабря 2020 г

Подпись Р.А. Сенина заверяю

Заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт»

по научной работе _____ / П.А. Форш/



Сведения об организации:

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»)

Адрес: 123182, РФ, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Телефон: +7 (499) 196–95–39

Факс: +7 (499) 196–17–04

E-mail: nrcki@nrcki.ru