УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель директора
ИППИ РАН по научной работе,
доктор технических наук, проф.
Ляхов Андрей Игоревич

_____

«8» января 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук (ИППИ РАН)

Диссертация «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Ингачева Анастасия Сергеевна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук в лаборатории №11 «Зрительные системы» сначала в должности инженера-исследователя, а затем в должности младшего научного сотрудника.

В 2015 г. Ингачева Анастасия Сергевна закончила обучение на факультете компьютерных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) по специализации «Технологии моделирования сложных систем». С октября 2015 по октябрь 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». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Соболевский Андрей Николаевич, директор Института проблем передачи

информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук. Научный консультант – кандидат физико-математических наук, Чукалина Марина Валерьевна, старший научный сотрудник лаборатории рефлектрометрии и малоуголового рассеяния ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук.

По результатам рассмотрения диссертации «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» принято следующее заключение.

Оценка актуальности.

Создание новых моделей и методов рентгеновской вычислительной (компьютерной) томографии, учитывающих особенности проводимого эксперимента, является актуальной темой. В данной работе рассмотрен случай проведения томографических экспериментов на лабораторном томографе в схеме без монохроматора. Классические алгоритмы реконструкции, используемые в промышленных и медицинских томографах, используют предположение о монохроматичности зондирующего излучения. Рентгеновская трубка в лабораторном томографе имеет широкий энергетический спектр, что ведет к искажениям реконструированного изображения при использовании классических алгоритмов реконструкции, и в некоторых случаях к неверной интерпретации результатов измерения. Предлагаемые в диссертации А.С. Ингачевой методы позволяют повысить качество реконструкции в условиях полихроматического зондирования.

Научная новизна работы:

Впервые проведено исследование спектральной модели оптического тракта рентгеновского одноканального томографа. Результаты моделирования, полученные с использованием спектральной модели, хорошо согласуются с результатами измерений. Впервые разработан алгоритм количественной оценки выраженности чашевидных артефактов на реконструированном изображении. Алгоритм позволяет проводить количественное сравнение изображений, восстановленных разными методами. Предложенный алгоритм автоматического выбора параметра корректирующей функции не требует проведения дополнительных калибровочных измерений. Впервые разработан комплекс программ численного моделирования для выполнения расчета томографических проекций в полихроматическом режиме и оценки качества реконструированных изображений.

Достоверность полученных аналитических результатов диссертации обеспечена использованием строгого математического аппарата, в частности доказательств, основанных на методах математического и функционального анализа. Помимо этого, достоверность подтверждается результатами апробации разработанных методов с помощью средств имитационного моделирования. Полученные результаты согласуются с результатами, полученными другими исследователями.

Теоретическая значимость диссертации в том, что результаты, полученные автором во время работы над ней, дополняют имеющиеся теоретические представления о математическом аппарате, используемом в томографии. **Практическая значимость** работы заключается в том, что использование предложенных в работе методов позволяет пользователям лабораторных томографов повысить качество восстановленных изображений.

Апробация работы. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на крупных международных конференциях, в частности на The 31st European Conference on Modelling and Simulation (2017) и на российских конференциях, таких как Первый Российский кристаллографический конгрессе (2016). Кроме того, результаты диссертационной работы докладывались на семинаре во ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Публикации.

Основные результаты диссертации своевременно и полностью опубликованы в 11 печатных работах, 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). Основные положения диссертации полностью соответствуют опубликованным статьям.

Публикации в изданиях из списка ВАК РФ

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., Рощин 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.

Публикации в сборниках трудов конференций

6. Методы подавления артефактов в полихроматичной рентгеновской микротомографии / Бузмаков А.В., Золотов Д.А., Ичалова Д.Е., Чукалина М.В., Николаев Д.П., Прун В.Е., Ингачева А.С., Гладков А.П., Якимчук И.В., Асадчиков В.Е. // Тезисы докладов. Конференция "Рентгеновская оптика – 2016". Черноголовка, 26-29 сентября. – 2016. – С. 15.
7. Компьютерная томография: от схемы измерения к результатам реконструкции через выбор оптимальных параметров модели / Ингачева А.С., Чукалина М.В., Бузмаков А.В., Гладков А.П., Асадчиков В.Е. // Материалы Первого Российского кристаллографического конгресса. Москва. ВДНХ. 21-26 ноября. – 2016. – С. 165.
8. CT image quality assessment based on morphometric analysis of artifacts / Nikolaev D., Buzmakov A., Chukalina M., Yakimchuk I., Gladkov A. Ingacheva A. // 2016 International Conference on Robotics and Machine Vision. – 2017. – Т. 10253. – С. 102530B. – Web of Science, Scopus.
9. 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.

10. 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.
11. 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.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

12. Свидетельство о регистрации программы ``Colibri": Реестр программ для ЭВМ, №2018610876, Ингачева А. С., Шешкус А. В., Бузмаков А. В., Гладков, А. П. 18.01.2018.

Личный вклад соискателя. Все основные научные положения и выводы, составляющие содержание диссертационной работы, обоснованы автором лично. Теоретические исследования и численное моделирование, необходимые для этого, также проведены автором лично. Постановки задач разрабатывались и уточнялись совместно с научным консультантом, а общая методология работы – с научным руководителем. Для апробации методов и алгоритмов были использованы экспериментальные данные, полученные сотрудниками ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась автором как самостоятельно, так и в соавторстве. В публикациях [1–3, 7, 9–11], общим объёмом 54 страницы, вклад соискателя был определяющим. Наличие большого числа соавторов в публикациях [4–6, 8] объясняется тем, что они посвящены не только вопросам, рассматриваемым в диссертационном исследовании. Общий объём данных работ 20 страниц, вклад соискателя 6 страниц.

Диссертация Ингачевой Анастасии Сергеевны по теме «Модели и методы рентгеновской компьютерной томографии в полихроматическом режиме» представляет собой самостоятельно выполненную автором научно-квалификационную работу, результаты которой обеспечивают решение важных теоретических и прикладных задач, возникающих при использовании метода томографии в лабораторных условиях. Последние критическим образом отличаются от условий синхротронных центров, реализующих монохроматическое зондирование с сохранением высокой интенсивности зондов. В диссертации содержатся оригинальные результаты

одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ, работа соответствует паспорту специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» для физ.-мат. 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». Работа полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым ВАК к кандидатам физико-математических наук.

Заключение принято единогласно на заседании семинара лаборатории № 11 «Зрительные системы» ИППИ РАН. Присутствовало на заседании 21 чел. (в том числе 6 чел. приглашенных). Результаты открытого голосования: «за» – 21 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 9 от 25 октября 2019 года.

Рук. семинара,
зав. лаб. № 11 «Зрительные системы» Д.П. Николаев
к.ф.-м.н. 25 октября 2019 г.