

## **Отзыв**

оппонента Дабагова Анатолия Рудольфовича  
на диссертацию соискателя Бессонова Виктора Борисовича  
на тему «Программно-аппаратные комплексы  
для микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики  
материалов, изделий, веществ и природной среды»

### **Актуальность темы диссертации**

Прогресс в области технологий рентгеновского неразрушающего контроля различных изделий неразрывно связан с достижениями в области создания новых методик исследования и оборудования для их реализации. Наиболее технологичным методом рентгеновского контроля в промышленности, впитывающим в себя все современные достижения в области создания цифровых плоскопанельных детекторов рентгеновского излучения, рентгеновских аппаратов, новые методы обработки изображений и алгоритмы является промышленная томография. Особое место здесь отводится методу микрофокусной рентгеновской томографии, позволяющему изучать структуры с характерными размерами отдельных элементов на уровне микрометров. Изучению особенностей, принципов построения и разработке новых технических средств для реализации метода микрофокусной рентгеновской томографии посвящена диссертация Бессонов Виктора Борисовича. Разработка и совершенствование этого метода неразрушающего контроля в промышленности является важной научно-технической проблемой. В связи с вышеописанным, тема оппонируемой диссертации, безусловно, является актуальной.

### **Новизна и достоверность основных выводов и результатов работы**

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые с целью оптимизации физико-технических условий проведения МРК-томографии предложена физико-математическая модель процесса сбора проекционных данных, учитывающая:

- формирование потока рентгеновского излучения в микрофокусной рентгеновской трубке (включая взаимодействие пучка электронов с мишенью анода);
- ослабление потока на выходе из мишени;
- ослабление потока материалом выходного окна и фильтрами;
- взаимодействие потока излучения с веществом на пути распространения от фокусного пятна до цифрового детектора (в том числе – с материалом объекта исследования);
- геометрию съемки (включая коэффициент увеличения изображения);
- размеры фокусного пятна и нестабильность его положения;
- особенности преобразования спектрального распределения потока рентгеновского излучения в носители заряда при его регистрации детектором (в том числе – неоднородность параметров детектора);
- вращение объекта исследования при сборе проекционных данных.

2. Разработан цифровой метод учета дрейфа фокусного пятна рентгеновской трубки в ходе томографического исследования, включая оригинальный алгоритм определения относительного изменения геометрических параметров съемки.

3. Разработаны алгоритм и методика локального томографического исследования крупногабаритных объектов с повышенным разрешением, позволяющие выполнять контроль в заранее определенной зоне интереса.

4. Исследовано влияние изменения энергетических параметров источника рентгеновского излучения в ходе томографического исследования и предложен метод учета изменений указанных параметров для повышения точности контроля.

5. В результате теоретических и экспериментальных исследований предложены принципы построения МРК-томографических систем с учетом особенностей объектов контроля и методов исследования.

**Достоверность** результатов диссертационной работы подтверждается хорошим совпадением результатов теоретических расчетов и моделей с экспериментальными исследованиями, а также применением современных методов и подходов к решениям различных задач. Результаты работы опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых изданиях (48 печатных работ) и докладывались на многочисленных конференциях всероссийского и международного уровня. Разработанные соискателем программно-аппаратные комплексы

демонстрировались на международных выставках и форумах. Автором работы получено 14 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 1 патент на изобретение и 4 патента на полезные модели по теме диссертации.

### **Ценность для науки и практики**

Научная и практическая значимость результатов диссертации высокая. Необходимо особо отметить, что все предложенные автором алгоритмы, методы и технические решения воплощены в созданных программно-аппаратных комплексах для микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии. Так, в разработанные автором и серийно выпускаемые микрофокусные рентгеновские компьютерные томографы серии «МРКТ» внедрены: алгоритм определения и цифровой коррекции проекционных данных в ходе томографического исследования, ориентированный на минимизацию влияния геометрических искажений, вызванных дрейфом фокусного пятна рентгеновской трубки, и другими факторами; алгоритм и программа локального томографического исследования крупногабаритных объектов с высоким разрешением; метод учета влияния изменения энергетических параметров источника рентгеновского излучения в ходе сбора проекционных данных с целью последующей коррекции и минимизации их влияния на вычисленное значение рентгенооптической плотности и т.д.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Оппонируемая диссертация выполнена на высоком научном уровне, написана грамотным языком и хорошо оформлена, содержит большое число иллюстраций, наглядно поясняющих подходы автора к решению задач. Автореферат и публикации автора полностью отражают суть рукописи диссертации. Все положения, вынесенные на защиту, считаю доказанными.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующие:

1. На стр. 68 указано, что «для определения необходимой толщины сцинтиллятора, в зависимости от требуемого разрешения, можно воспользоваться кривой, приведенной на рисунке 1.41, полученной по результатам экспериментальных исследований», однако не описана методика проведения этого эксперимента и не обоснована связь между

размерами пикселя, толщиной сцинтиллятора и размером минимально определяемой детали.

2. На стр. 70 в таблице 1.4. приведены данные по ослаблению рентгеновского излучения в материале волоконно-оптической шайбы, однако не указан источник этих данных – результаты ли это, полученные автором (тогда не описана методика эксперимента), либо, откуда они взяты.

3. На страницах 82-87 автор рассматривает прохождение излучения через слой вещества на пути от источника к произвольной точке приемника. Однако, тогда если в направлении центральной оси пучка толщина ослабляющего слоя, параллельного приемнику, будет  $d$ , то под углом  $\alpha$  к центральной оси (например, в угол приемника), излучение будет проходить толщину слоя  $d/\cos\alpha$ , чем при больших углах, свойственных съемке с увеличением, нельзя пренебрегать.

4. Непонятно, зачем на стр. 143-146 подробно описан метод коррекции металлических артефактов, если в конце описания указан его принципиальный недостаток, успешно преодоленный автором.

5. Приведенная на стр. 202 при описании ядра свертки фраза «Достоверные результаты при реконструкции показывает ядро свертки вида...» в тексте совершенно не обоснована – наилучший ли это вариант, единственный ли опробованный, не показано сравнение с другими примерами и так далее.

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку качества выполненной работы, не ставят под сомнение научные результаты, обоснованность выводов и её важную практическую значимость.

## **Заключение**

Разработанные автором новые методы и алгоритмы, реализованные при создании программно-аппаратных комплексов для микрофокусной рентгеновской томографии представляют собой решение научной проблемы, имеющее важное значение для промышленности.

Представленная диссертация «Программно-аппаратные комплексы для микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от

28.08.2017 № 1024), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Бессонов Виктор Борисович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностика материалов, изделий, веществ и природной среды».

Оппонент,

Дабагов Анатолий Рудольфович,

д.т.н., президент АО «Медицинские технологии Лтд»

105318, Москва, ул. Мироновская, д. 25

Телефон: +7 (495) 663-95-01

E-mail: dar@mtl.ru

07 ноября 2022 год

