

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Сырямкина Владимира Ивановича

на диссертационную работу *Кожевникова Данилы Александровича «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01, «Приборы и методы экспериментальной физики».

Актуальность темы диссертационной работы

Появление гибридных пиксельных детекторов с счетом одиночных фотонов и дальнейшее развитие в течении последнего десятилетия технологии их производства привело к росту интереса применения методов рентгеновской томографии для изучения внутренней структуры различных объектов с использованием информации о спектре прошедшего через объект излучения. Одни из таких детекторов производятся на основе микросхем Medipix и позволяют измерять спектр падающего рентгеновского излучения в каждом пикселе — ячейке размером 55 мкм x 55 мкм. Такая информация позволяет установить элементный состав по объему исследуемого объекта и уже находит свое применение в различных областях науки и техники. Развитие методов идентификации веществ с помощью данных, получаемых в результате мультиэнергетической рентгеновской томографии, представляется крайне важной и интересной. Об этом свидетельствует и рост числа публикаций по данной тематике, в том числе научно-популярной литературы. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы, выбранной Кожевниковым Д.А., не вызывает сомнений.

Общая характеристика

Диссертационная работа имеет следующую структуру: введение, шесть глав, заключение, список сокращений и условных обозначений и список литературы. Диссертация изложена на 133 страницах формата А4, содержит 66 рисунков и 2 таблицы. Список литературы состоит из 89 наименований.

Во **введении** автор объясняет актуальность выбранной цели диссертационного исследования.

Это позволяет подготовить читателя к лучшему восприятию дальнейшего материала. Четко сформулированы цель работы и задачи. Определена научная новизна и представлены положения, выносимые на защиту. Приведен список конференций, в которых принимал участие автор диссертации. Представлен личный вклад автора.

В Главе 1 достаточно полно представлена информация о методе компьютерной томографии и, в частности о мультиэнергетической (цветной) компьютерной томографии. Систематизированы литературные данные о методах вычислительной реконструкции, а также о методах идентификации материалов. Рассмотрены механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Представлены основные типы детекторов для регистрации рентгеновского излучения и получения рентгеновских изображений. Приводится весьма подробный обзор гибридных пиксельных детекторов семейства Medipix. Основной акцент сделан на характеристиках и режимах работы детекторов, важных с точки зрения компьютерной томографии. Поскольку такие детекторы являются основным инструментарием в данной работе, представленный обзор представляется весьма уместным.

Глава 2 посвящена математическому моделированию детекторов семейства Medipix методом Монте-Карло. В первой части главы автор рассказывает о выбранной математической модели детектора и о результатах моделирования. Во второй части главы речь идет о сравнении моделирования с результатами эксперимента, проведенного с помощью точечного моноэнергетического пучка фотонов.

Автором обосновывается необходимость и важность проведения такого моделирования. С точки зрения проектирования детекторов, оно позволяет сократить время и средства при подборе оптимальных параметров конструкции детектора. При решении задачи мультиэнергетической томографии моделирование используется для расчета функции пространственного и энергетического отклика детектора.

В Главе 3 приведено описание разработанной автором процедуры энергетической калибровки порогов детектора Medipix. В начале автор делает обзор существующих методов выравнивания энергетических порогов детектора Medipix, а также приводит преимущества и недостатки каждого из них. Это позволяет мотивировать разработку нового метода, которой занимался автор диссертационной работы. К преимуществам разработанного метода стоит отнести отсутствие необходимости демонтировать детектор из экспериментальной установки, а также то, что в данной процедуре учитываются свойства материала сенсора.

Стоит также отметить, что сама процедура калибровки на примере детектора Timex описана очень подробно, что позволит другим научным коллективам с легкостью ее использовать. Работа, в основе которой лежит разработанная методика, опубликована в реферируемом журнале, что говорит об ее уникальности. Возникает единственный вопрос: почему при проведении

калибровки автор остановился на энергии 56 кэВ, хотя максимальное напряжение на используемой рентгеновской трубке 110 кВ?

Глава 4 посвящена научно-методическим работам на микротомографе MARS. Во-первых, автором была проведена геометрическая калибровка микротомографа – были измерены смещения различных осей, что в дальнейшем было использовано в качестве параметров для реконструкции. В результате проведения данной процедуры было достигнуто пространственное разрешение микротомографа MARS порядка 80 мкм.

Также в этой главе приводится описание разработанного автором диссертации программного обеспечения(ПО) для проведения мультиэнергетического сканирования различных объектов. Разработка такого ПО оказалась необходимым условием для достижения цели диссертационной работы. Приведены результаты сканирования различных объектов – геологических и биологических, проведенные автором на микротомографе MARS.

В Главе 5 приведено описание мультиэнергетического сканирования спектрального фантома MARS. Показана принципиальная возможность определения веществ с помощью анализа зависимости от энергии линейного коэффициента ослабления, измеренной с помощью детектора Timerix с сенсором из GaAs:Cr. Автором применен алгоритм водораздела для повышения качества выделения однородных областей исследуемого объекта. Это позволило определить распределение материала фантома (плексиглас), гадолиния в концентрации 8 мг/мл и 2 мг/мл, золота в концентрации 8 мг/мл, йода в концентрации 18 мг/мл, кальция в концентрации 240 мг/мл.

В Главе 6 автор представляет оригинальную идею использования одновременно трех детекторных материалов в одном детекторе – кремния, арсенида галлия и теллурида кадмия. Проведено не только математическое моделирование такой системы, но и экспериментальные исследования, показывающие эффективность такого подхода для спектральных рентгенографических сканирований. Так, число энергетических бинов увеличивается пропорционально числу детекторных слоев. В работе представлено исследование изменения пространственного разрешения каждого из трех детекторных слоев. Значительным дополнением работы служило бы исследование энергетического разрешения каждого из слоев детектора и сравнение с результатами однослойных детекторов с аналогичными сенсорами.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Оценка научной новизны и достоверности результатов

Научная новизна и достоверность результатов не вызывает вопросов. Результаты были представлены автором на множестве международных конференций и опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе в 5

журналах, рекомендованных ВАК. Стоит отметить, что к моменту изучения диссертационной работы Кожевникова Д.А. мной не было найдено доступных программных продуктов для моделирования пиксельных детекторов на основе GaAs:Cr. Весьма оригинальным считаю подход автора к решению задачи сегментации в изображениях, примененном для лучшего разложения исследуемого фантом на вещества. Достижению основных результатов работы способствовали комплексный и системный подход к решению поставленных задач, а также использование множества литературных источников мирового уровня.

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы уже используются в рентгеновском микротомографе MARS (геометрическая юстировка), установленном в Объединенном институте ядерных исследований. Распространенность детекторов Medipix позволяет считать, что разработанное автором программное обеспечение для моделирования отклика таких детектором является востребованным мировым сообществом.

В целом работа написана хорошим языком, характеризуется целостностью и грамотностью изложения. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы. **Автореферат соответствует диссертации.** Положения, выносимые на защиту, являются полностью обоснованными.

Совершенно очевидно, что автором был проделан очень большой объем разноплановой работы: начиная от геометрической калибровки микротомографа MARS, и заканчивая написанием программного обеспечения как для управления микротомографом, так и Монте-Карло моделирования детектора и разделения веществ.

Недостатки и замечания

1. Не указаны известные ученые, внесшие значительный вклад в разработку метода, которому посвящена диссертация.
2. Отсутствуют акты внедрения результатов диссертационной работы. Не оформлены объекты интеллектуальной собственности. Целесообразно было привести структурную или обобщенную схему детектора частиц на основе микросхем Medipix.
3. Имеются неточности и опечатки: Список литературы отсутствует в оглавлении. Некоторые номера рисунков в тексте диссертации и автореферата указаны как «??», не указаны знаки препинания (стр.29) и существуют несоответствия обозначений (рис. 2.5). Значительно отличается глубина изложения разделов работы. Например, подробно

освещена процедура калибровки энергетических порогов детектора Тімеріх, а методов распознавания веществ – недостаточно подробно.

Указанные недостатки и замечания ни в коей мере не снижают научных достоинств диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Кожевникова Д.А. является законченным исследованием, выполненным на высоком уровне и свидетельствует о высокой квалификации автора. Работа полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ. Автор Кожевников Д.А. несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой управления качеством,
факультет инновационных технологий
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский
государственный университет»,
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный работник Высшей школы РФ,
Лауреат Премии Правительства РФ
в области образования.

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Тел.: (3822) 52-98-23, +79059908625

e-mail: svi_tsu@mail.ru

Специальность по которой была защищена докторская
диссертация

05.13.05. – «Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления»



Сырямкин Владимир Иванович

Н. А. САЗОНТОВА