

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кожевникова Данилы Александровича  
«Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с  
применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.01, «Приборы и методы экспериментальной  
физики».

Диссертация Кожевникова Данилы Александровича «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix» написана на актуальную тему развития методов рентгеновской компьютерной томографии.

Рентгеновская компьютерная томография сейчас применяется во многих областях науки: науке о материалах, науке о жизни, науке о Земле, исследовании исторического наследия и других, поэтому большие усилия прикладываются для развития методов и оборудования для подобных исследований. Как правило, рентгеновская томография выявляет форму и границы областей, составляющих тот или иной объект и позволяет измерить коэффициент поглощения рентгеновского излучения для этих областей. Однако для полной характеристики объекта требуется идентифицировать вещества, его составляющие. В этом направлении проводятся работы разными исследовательскими группами. Используются такие явления, как дифракция рентгеновского излучения, рентгенофлуоресцентный анализ, однако эти методы имеют существенные ограничения, и наиболее прямым и естественным для реализации в томографическом эксперименте является анализ коэффициента поглощения вещества, в первую очередь его энергетической зависимости. Таким образом, заявленная в диссертации цель работы, а именно «разработка метода определения пространственного распределения веществ с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix» является актуальной.

Научная новизна работы определяется ее вкладом в достижение поставленной цели. Наиболее значимым представляется предложение и реализация идеи трехслойного детектора с чувствительными объемами из веществ с разной плотностью, в данном случае, из кремния, арсенида галлия и теллурида кадмия. Для реализации данной методики важна разработка способа повышения качества идентификации веществ с помощью сегментации реконструированного изображения образца на основе зависимости линейного коэффициента ослабления от энергии, что и было выполнено в данной работе. Для достижения поставленных целей в работе был создан инструментарий для работы с детекторами во всех основных аспектах: математического моделирования, метод

выравнивания энергетических порогов пикселей детектора, разработана новая процедура комплексной механической юстировки микротомографа.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений. Результаты работ автора прошли серьезную апробацию, они были представлены на многих национальных и международных конференциях.

Результаты исследования должны быть востребованы при создании томографического оборудования, развитии методов анализа данных мультиэнергетического рентгенотомографического сканирования, а также в других областях применения микросхем семейства Medipix и аналогичных электронных устройств.

В первой главе автором рассмотрены теоретические основы метода мультиэнергетической рентгеновской томографии и описаны поколения детекторов семейства Medipix и их свойства применительно к цели диссертации.

Во второй главе проведено математическое моделирование детекторов прямой регистрации, что позволяет сократить расходы и время на подбор оптимального материала, его толщины и типа микросхемы, в зависимости от задачи и требований к характеристикам детектора, в частности, для задачи мультиэнергетической томографической реконструкции. Результаты моделирования были экспериментально подтверждены с помощью измерений на синхротронном излучении.

В третьей главе рассмотрены существующие методы настройки энергетических порогов пикселей детектора, проанализированы их недостатки и предложен и реализован метод выравнивания энергетических порогов пикселей детектора по краю спектра рентгеновской трубы.

В четвертой главе описан рентгеновский микротомограф MARS, описана процедура его механической юстировки, необходимой при замене детектора, и приведены результаты исследований нескольких объектов, показывающих важность применения рентгеновской томографии в медицине и геологии.

В пятой главе представлены результаты мультиэнергетического рентгенотомографического сканирования модельного объекта. Приведено описание процедуры такого сканирования, в результате которой измерены зависимости линейного коэффициента ослабления от энергии для различных веществ фантома.

В шестой главе приведено описание и моделирование трехслойного детектора с чувствительными объемами из Si, GaAs:Cr, CdTe. Проведена

экспериментальная проверка применимости трехслойного детектора для мультиэнергетической рентгеновской томографии.

Диссертация не лишена недостатков, относящихся, в основном, к стилю изложения.

Диссертация трудна для восприятия для неспециалиста в электронике. По-видимому, автор опускает определения понятий, которые он считает очевидными. Например, в описании калибровки детектора важную роль играет понятие «целевой энергии», которое не определено.

Подписи к рисункам зачастую недостаточно информативны. Так, на рисунках 3.10, 3.11 – по абсциссе значится энергия, но не понятно, энергия чего. На рисунке 4.11 непонятно, в каких сечениях изображения выполняется аппроксимация.

На стр.78, где впервые характеризуется динамический диапазон детектора, не приведено его значение, хотя указано, что он может быть увеличен, на стр. 83 написано, что динамический диапазон широк, но не написано, каков.

Раздел примеров исследования очень схематичен. Понятно, что результаты конкретных исследований не входят в компетенцию автора диссертации, но пояснения к обилию геологических терминов были бы полезны.

В разделе 5.3 не описана процедура определения вещества с помощью метода наименьших квадратов.

В разделе 6.5.5 не описана процедура построения распределения реконструированных значений коэффициента ослабления.

Язык диссертации не свободен от ошибок, которые зачастую кажутся связанными с использованием компьютерных алгоритмов проверки орфографии.

Описанные недостатки не умаляют общей положительной оценки диссертации.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики» по физико-математическим наукам.

Все основные положения и выводы диссертации опубликованы в 5 изданиях, входящих в базы данных Web of Science, Scopus и перечень ВАК, и хорошо представлены на многочисленных конференциях.

Автореферат соискателя в полной степени отражает положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации.

Диссертационное исследование Кожевникова Данилы Александровича на тему «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix», выполнено на высоком научном уровне, полностью соответствует требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Кожевников Данила Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики».

доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник  
Курчатовского комплекса  
синхротронно-нейтронных исследований  
тел. (499) 196- 196-71-00 (доб.32-47) ,  
e-mail Podurets\_KM@nrcki.ru  
НИЦ «Курчатовский институт»  
Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Константин  
Михайлович  
Подурец

Подпись К.М. Подурца заверяю:

Главный учёный секретарь  
НИЦ «Курчатовский институт»

П.А. Форш

