

## Отзыв официального оппонента на диссертацию

Лысенко Александра Юрьевича

«Реконструкция пространственных распределений источников излучения в однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в рассеивающей среде», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация Лысенко Александра Юрьевича посвящена реконструкции пространственных распределений источников излучения с учетом процессов взаимодействия частиц с веществом на пути от источника до детектора в однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) в однородной рассеивающей среде с индикатрисой рассеяния "рассеяние прямо назад" и в «реальной» однородной среде.

**Актуальность работы** обусловлена трудностями учета вклада излучения, от рассеянных фотонов, попадающих на детектор во время регистрации проекционных данных, что приводит к размытию и уменьшению точности реконструированных томограмм. Применяемые традиционные методы реконструкции эмиссионных томограмм в ОФЭКТ осуществляют частичную коррекцию влияния рассеяния, основываясь на предположении о том, что рассеянный фотон никогда не достигнет детектора. Разработка новых методов реконструкции пространственных распределений источников излучения, учитывающих условия взаимодействия с рассеянными фотонами, позволит повысить точность снимков для диагностики внутренних структур объектов.

Целью диссертационной работы Лысенко А.Ю. является реконструкция пространственных распределений источников излучений в однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с учётом рассеяния излучения в однородной рассеивающей среде.



### **Краткая характеристика основного содержания диссертации.**

Диссертация Лысенко А.Ю. содержит введение, 4 главы, заключение и список литературы.

В первой главе диссертационной работы приводится описание существующих видов томографии, основных принципов работы ОФЭКТ. Описан процесс регистрации проекционных данных и реконструкции пространственных распределений источников излучения. Рассматриваются основные факторы, приводящие к искажениям проекционных данных и реконструированных томограмм. Подробно описываются принципы расчетов, применяющиеся в основных методах реконструкции. Приводятся известные методы частичной коррекции влияния рассеяния излучения и методы, уменьшающие влияние факторов, приводящих к искажениям проекционных данных и восстановленных томограмм, на точность их реконструкции.

Вторая глава посвящена особенностям ОФЭКТ в среде со свойством "рассеяние прямо назад". Приводится односкоростное стационарное уравнение переноса излучения (УПИ), описывающего взаимодействие излучения с веществом в эмиссионной томографии. Данное уравнение не имеет точного аналитического решения в общем случае, так как оно является интегро-дифференциальным. Рассмотрено приближение чисто поглощающей среды, позволяющее упростить это уравнение и получить точное аналитическое решение. Описан традиционный метод реконструкции томограмм в ОФЭКТ, основанный на решении УПИ в приближении чисто поглощающей среды.

Автором предложено использование индикатрисы, которая описывает среду со свойством "рассеяние прямо назад" (РПН-среда) и позволяет перейти от интегро-дифференциального уравнения к дифференциальному уравнению в частных производных. Получено точное решение УПИ в РПН-среде для произвольного пространственного распределения источников излучения с точными граничными условиями. На основе точного решения



УПИ получено решение обратной томографической задачи, позволяющей осуществлять реконструкцию томограмм.

Третья глава посвящена исследованию точности реконструкции в ОФЭКТ на основе аналитического моделирования проекций. Автором разработана программа для моделирования показаний детектора для РПН-среды на языке MatLab. На основе разработанной программы проведено исследование точности реконструкции для традиционного и нового методов. В качестве исследуемых параметров были использованы простой объект "Диск" и сложный объект "Фантом Шеппа-Логана". Получены зависимости от геометрических параметров исследуемых объектов и отношения коэффициента рассеяния к коэффициенту ослабления для традиционного и нового методов реконструкции. Предложен итерационный метод коррекции геометрического ослабления, который существенно улучшает точность реконструкции по критерию равномерного отклонения восстановленного распределения источников излучения от истинного. Новый метод реконструкции позволяет получить меньшее значение среднеквадратичного отклонения и лучшую визуальную различимость деталей.

В четвёртой главе диссертационной работы описано исследование точности реконструкции в ОФЭКТ на основе моделирования проекций методом Монте-Карло. Численное моделирование прохождения излучения через вещество в эмиссионной томографии методом Монте-Карло было проведено с использованием программного инструментария GEANT4. В настоящее время это наиболее полный набор инструментов, применяемый для моделирования в области ядерно-физических систем. Приведено описание исследований точности реконструкции в ОФЭКТ на основе моделирования траекторий движений гамма-квантов методом Монте-Карло для объектов простой и сложной геометрии. Первое исследование - для простого объекта "Диск" в тринадцати различных средах: литий, натрий, калий, вода, бериллий, магний, бор, кальций, углерод, сера, силиций, алюминий и чёрный фосфор. Установлено, что новый метод, предложенный



в диссертационной работе, превосходит традиционный метод реконструкции как по критерию среднеквадратичного отклонения, так и по визуальной различимости деталей на томограммах. Второе исследование проведено для двух объектов с разной внутренней структурой – "Диск" и "Фантом Шеппа-Логана". В качестве моделируемых сред были выбраны вода, кальций, углерод и алюминий. Установлено, что влияние рассеяния излучения для объекта с простой внутренней структурой сильнее, чем для объекта со сложной пространственной структурой. При этом новый метод сохраняет превосходство над традиционным методом реконструкции. Показано, что разработанный алгоритм реконструкции эмиссионных томограмм в условиях сильного рассеяния излучения по сравнению с традиционным методом улучшает точность реконструкции в несколько раз (до трёх раз в зависимости от величины коэффициента рассеяния среды) по критерию среднеквадратичного отклонения.

В целом диссертационная работа Лысенко А.Ю. является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, обеспечивающим возможность преодоления неточностей реконструкции пространственного распределения источников излучения. Имеет высокую научную и практическую значимость. Разработанный метод позволяет проводить исследования рассеивающих сред, а полученные результаты могут быть использованы для улучшения алгоритмов существующих эмиссионных томографов или для разработки новых конструкций аппаратов для медицинской диагностики. Защищаемые научные положения, выводы и рекомендации диссертации представляются обоснованными, полученные результаты являются достоверными и оригинальными. Материал исследований изложен грамотным языком, в работе даны необходимые понятия и пояснения для анализа выполненной работы.

В то же время, можно отметить ряд замечаний:



1. Хотелось бы иметь возможность оценки точности реконструкции томограмм путем сравнения полученных результатов модельных расчетов с результатами экспериментальных измерений на медицинском фантоме.
2. Отсутствует обоснование выбора исследуемых химических элементов рассеивающей среды. Исследование влияния рассеяния излучения в зависимости от материала фантома проведено для 13 различных химических веществ, из которых формировалась рассеивающая среда. И в качестве рассеивающей среды при сравнении влияния рассеяния излучения на точность реконструкции томограммы для простого и сложного объектов было выбрано четыре вещества: вода, кальций, углерод и алюминий.
3. Не дано пояснение каким образом при испускании фотонов двумя или несколькими источниками учитывается взаимодействие частиц, пересекающихся траекторий внутри экспериментального объекта.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертации, ее научной и практической значимости.

Результаты диссертации достаточно полно отражены в опубликованных работах, представляют несомненный научный интерес и имеют практическую значимость. Диссертационная работа и научные публикации подтверждают личный вклад диссертанта в разработку представленных научных проблем, а сама работа представляет собой завершённый научный труд, выполненный на актуальную тему и содержащий решение научной задачи, имеющей значение для развития методов экспериментальной физики. В автореферате достаточно полно отражено содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Лысенко А.Ю. является завершённой научно-квалификационной работой, которая полностью соответствует требованиям, установленным "Положением о присуждении ученых степеней" ВАК при

Минобрнауки РФ. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

А Лысенко Александр Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2– «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент,

доцент кафедры физики ускорителей и радиационной медицины ФГБУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова,

кандидат физико-математических наук, Борщеговская Полина Юрьевна

« 7 » апреля 2022 г.

Подпись доцента кафедры физики ускорителей и радиационной медицины ФГБУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова Борщеговской Полины Юрьевны удостоверяю.

Борщеговской П.Ю. заверено.  
Иванов Александр И.В.