

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**о диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Пчелинцева Якова Антоновича**  
**на тему: «Математические методы адаптивного повышения качества**  
**биомедицинских изображений»**  
**по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные**  
**методы и комплексы программ»**

Представленная диссертационная работа Пчелинцева Якова Антоновича посвящена разработке математических методов для анализа и адаптивного повышения качества биологических и медицинских изображений, а также их алгоритмической и программной реализации для решения задач повышения разрешения и резкости биомедицинских изображений, оценки и повышения качества медицинских изображений.

В данных областях математические методы позволяют расширить возможности уже имеющихся инструментов и повысить удобство дальнейшего анализа изображений, поэтому создание новых алгоритмов представляется актуальной задачей.

Работа имеет объём 104 страницы, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списков использованной литературы, публикаций автора по теме исследования, рисунков и таблиц.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, описание цели, научной новизны и ценности работы, краткую характеристику степени разработанности темы, описание рассматриваемых в работе задач и список положений, выносимых на защиту. Более подробный обзор литературы и степень разработанности по соответствующим тематикам содержится в начале каждой из первых трех глав.

В первой главе описана разработка метода повышения разрешения изображений флуоресцентной микроскопии с применением красителей специального типа. Приведены сведения об основных существующих

алгоритмах получения изображения с более высоким разрешением, с которыми в дальнейшем проводится сравнение разработанного метода. Дано описание базовых принципов формирования изображений в данной области и на их основе предложена математическая модель искажения изображения. Приведено описание использованных данных и оборудования, с помощью которых они были получены. Для решения задачи построения резкого изображения высокого разрешения на основе последовательности изображений объекта, подсвеченного стохастически мигающим красителем, предложена математическая модель и разработан численный метод. Автор приводит теоретические основы и алгоритм работы предлагаемого метода. Существенным допущением является то, что вследствие малого размера молекул красителя в каждом пикселе изображения может находиться достаточно много независимо мигающих молекул, и это обстоятельство дает основание приближать распределение суммарной яркости точки нормальным распределением. Сравнение результатов работы проводится на искусственных и реальных данных, после чего даются выводы о применимости рассмотренных алгоритмов.

Во второй главе описывается разработка малопараметрического алгоритма повышения резкости медицинских изображений методом деформации пиксельной сетки. Рассматриваются три характерные модели ядер оптического размытия. Обсуждаются преимущества рассматриваемого метода с точки зрения практической медицины. Приведено итоговое описание используемой модели размытия изображения, описание набора данных, использованного для разработки алгоритма, теоретические основы и идея деформационного метода повышения резкости изображений, алгоритм его работы. Предлагаются две новые функции смещения пикселей в качестве основы для разработки алгоритма, и методика нахождения их оптимальных параметров для ряда моделей оптического размытия изображений. Показаны результаты сравнения качества работы алгоритма с использованием разных функций, которые подтверждают, что предложенные функции смещения

демонстрируют улучшение качества обработки изображений по сравнению с базовой функцией.

Третья глава посвящена контролю качества рентгенограмм грудной клетки в задаче диагностики туберкулёза лёгких. Приводится описание предлагаемого нейросетевого метода оценки качества рентгеновских снимков на основе анализа жёсткости рентгенограммы, а также наборов данных, использованных для его разработки и тестирования. Предлагается алгоритм адаптивной предобработки входных изображений (алгоритм адаптивного контрастирования) для повышения качества анализа жёсткости. Описана методика проведения экспериментов и полученные результаты. Оценивается влияние применения предложенного метода для фильтрации обучающей выборки и контроля входных изображений нейросетевого алгоритма компьютерной диагностики туберкулёза лёгких на точность диагностики.

Четвёртая глава содержит описание программной реализации предложенных методов и сформированного в сотрудничестве с сотрудниками НПЦ «Фтизиатрия» им. Е.Н. Андреева набора рентгенограмм грудной клетки для задачи компьютерной диагностики туберкулёза лёгких, разнородного по условиям получения снимков и сбалансированного по возрасту и полу. Данный набор рентгенограмм выложен в открытый доступ.

Научную новизну работы составляют предложенная математическая модель и метод для повышения разрешения изображений мигающей флуоресцентной микроскопии, малопараметрический алгоритм повышения резкости медицинских изображений деформационным методом для различных моделей оптического размытия, нейросетевой алгоритм контроля качества рентгенограмм грудной клетки для задачи диагностики туберкулёза лёгких.

Достоверность результатов проведенных исследований обеспечена опорой на теоретическую базу, математической обоснованностью разработанных методов, проведенными вычислительными экспериментами и тестированием алгоритмов на реальных данных.

Научная и практическая значимость работы заключается в разработке ряда методов и алгоритмов повышения качества биомедицинских изображений. Предлагаемые алгоритмы можно применять для решения задач повышения резкости и разрешения изображений флуоресцентной мигающей микроскопии, повышения резкости изображений в различных областях медицины, контроля качества рентгенограмм грудной клетки при проведении исследований и диагностики заболеваний как независимо, так и в виде связанных модулей систем обработки научных и медицинских изображений.

Значительный интерес представляет глава 3. В ней приведен полный цикл исследований по применению методов машинного обучения к реальным данным, с предобработкой данных, с теоретическим обоснованием предлагаемых алгоритмов, с описанием обучающих и валидационных выборок, с практическим применением разработанных методов.

Основные результаты исследования опубликованы в 8 публикациях, из которых 7 – в изданиях WoS, Scopus, RSCI, и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Тем не менее, к работе есть замечания:

1. В первой главе при наличии визуального сравнения результатов работы предложенного метода с существующими алгоритмами отсутствует сравнение объективных численных показателей качества обработки изображений.

2. Во второй главе поиск оптимальных параметров предлагаемых функций смещения имело бы смысл подтвердить на синтетической базе.
3. В работе присутствуют неизбежные опечатки (I вместо G в конце первого предложения предпоследнего абзаца на стр. 22 и др.), в целом не влияющих на читаемость текста.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что соискатель Пчелинцев Яков Антонович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры вычислительных методов  
факультета вычислительной математики и кибернетики  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова»

МУХИН Сергей Иванович

08.12.2023

Контактные данные:

тел.: +7(495)939-21-95, e-mail: vmmus@cs.msu.su

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Адрес места работы:

119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 52,  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова», факультет вычислительной математики и кибернетики  
Тел.: +7(495)939-30-10; e-mail: cmc@cs.msu.ru

Подпись сотрудника Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова» С.И. Мухина удостоверяю:



Подпись удостоверяю  
Зедущий специалист по кадрам

 Т.Г. Коваленко