

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Московского государственного  
университета имени М. В. Ломоносова,  
физико-математических наук, профессор



Федянин А.А.

«13» января 2025 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Егوشина Ивана Александровича  
«Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных  
маммографических изображений», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ»

**Актуальность.** Рак молочной железы по-прежнему остаётся одной из важнейших проблем онкологии в мире и занимает одно из первых мест по заболеваемости вместе с раком лёгких. Данный факт требует разработки стратегий по снижению смертности от данной патологии, включая раннюю диагностику с помощью программ обязательного маммографического скрининга населения. Проблема практической маммографии заключается в сложности визуальной идентификации маленьких и атипичных проявлений рака, и эти типы патологических изменений часто упускаются и диагностируются позже на более поздней стадии, что ухудшает прогноз. Для преодоления этих проблем разрабатываются различные подходы. Один из них соответствует обработке изображения маммографии с помощью систем компьютерного анализа. В настоящее время методы машинного обучения и глубокого обучения для обработки изображений являются наиболее интересными для проектирования таких систем. Методы машинного обучения позволяют создавать модели, которые распознают различные типы патологических изменений на маммографических изображениях. Сети глубокого обучения имеют потенциал для использования в автоматизированном скрининге, стадировании заболеваний, предсказании эффекта лечения и исходе заболевания. Системы компьютерного анализа на основе методов машинного обучения, такие как метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, случайный лес и логистическая регрессия, обычно зависят от этапа извлечения характеристик изображения и обычно используются для обнаружения и

классификации рака молочной железы. Эти методы показывают хорошую точность, но уровень ложноположительных результатов в предложенных системах очень высок, и научное сообщество уделяет больше внимания подходам к снижению этого показателя. В отличие от традиционных методов машинного обучения, методы глубокого обучения не зависят от этапов извлечения характеристик изображения. Эти алгоритмы на основе методов глубокого обучения не обучаются на распознавание и классификацию патологических изменений на основе информации об их форме, размере, структуре и других характеристиках. Они самостоятельно обучаются и учитывают различные параметры изменения, используя большую базу изображений для обучения. Тем не менее, следует отметить, что у сетей глубокого обучения есть свои недостатки, например, риск недостаточной стабильности результатов прогнозирования из-за ограниченной способности модели обобщать информацию, особенно в случаях, когда в данных для обучения отсутствуют новые ситуации или контексты.

Таким образом, учитывая вышеописанные недостатки, актуальным является исследование существующих методов и разработка новых алгоритмов, позволяющих обнаруживать, сегментировать и классифицировать патологические изменения молочной железы на ранних стадиях, с учетом широкой вариабельности как размеров патологических изменений, так и их пространственной локализации на маммографических изображениях.

**Целью** работы Егошина Ивана Александровича являлась разработка и улучшение алгоритмов обработки и анализа суммационных маммографических изображений для повышения точности и достоверности неинвазивной диагностики рака молочной железы.

**Научная новизна.** В проделанной диссертационной работе Егошина И.А. впервые:

1. Предложен новый метод обнаружения патологических изменений на маммограммах на основе алгоритма вложенных контуров и рассматриваемой модели образований, позволяющий повысить чувствительность маммографии в выявлении рака молочной железы.

2. Разработан оригинальный метод сегментации подозрительных изменений на маммографических изображениях, основанный на предложенной модели, где модуль градиента растет в направлении от вершины образования к его границе, и не искажающий границы исследуемого объекта, а также впоследствии не влияющий на извлечение текстурных и/или геометрических признаков изменений молочной железы.

3. Разработан новый метод обнаружения кальцинатов на маммографических изображениях, обеспечивающий повышение чувствительности маммографии в выявлении рака молочной железы.

4. Разработана новая методика к классифицированию доброкачественных и злокачественных скоплений кальцинатов на маммографических изображениях, отдельно учитывающий скопления кальцинатов в сосудах в виде модели линейных объектов и обеспечивающий снижение частоты ложноположительных откликов алгоритма вложенных контуров.

**Общая характеристика диссертационной работы.** Диссертация Егошина И.А. состоит из введения, трех глав, выводов, заключения, практических рекомендации и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 155 страницы, список литературы содержит 175 наименований.

Во введении дается общая характеристика работы. Обсуждаются актуальность темы, цель и задачи работы, методология и методы исследования, практическая и теоретическая значимость, новизна, достоверность, публикации и личный вклад автора, а также приводятся положения, выносимые на защиту.

В главе 1 автором подробно рассмотрены особенности маммографических изображений, а также изучены различные типы изменений молочной железы, представляющие собой потенциальные раки. Анализируются существующие алгоритмы и методы обработки маммограмм для выявления патологических изменений. В конце Егошин И.А. делает выводы и уточняет цель и задачи диссертационного исследования.

В главе 2 представлены наборы данных маммографии, которые использовались для разработки новых методов обнаружения, сегментации и классификации патологических изменений. Автор также рассматривает математическую модель яркости пикселей образования молочной железы на маммограмме, описывающуюся как модель поверхности второго порядка. Особенность этой модели заключается в том, что линии уровня, построенные в окрестности вершины изменения, имеют сходные формы, а значения градиента подозрительного изменения увеличиваются по направлению от вершины к границе. На основе данной модели для решения задачи поиска патологических изменений на маммографических изображениях был разработан алгоритм вложенных контуров, основанный на анализе линий уровня. Проводится анализ вложенных друг в друга линий уровня и рассчитываются геометрические параметры, позволяющие сделать вывод об их сходстве – если линии уровня схожи, то рассматриваемый контур линии уровня содержит патологическое изменение. Далее автор диссертации рассмотрел возможность применения одноэтапного детектора глубокого обучения YOLOv4 для обнаружения образований, обучив модель на более чем 500 изображениях маммограмм. Для решения задачи сегментации изменений Егошиным И.А. предложена методика на основе анализа яркостных различий пикселей на маммографических изображениях – проводились лучи от

центра патологического образования во все стороны, чтобы найти точку с максимальным изменением яркости на них, которая является приближенной границей образования. Кроме того, в этой главе были представлены две методики классификации опухолевых изменений на маммограммах. Первый подход отличается тем, что для извлечения признаков использовались как само изображение, так и результаты его предварительная обработка. Второй подход отличается тем, что для извлечения признаков использовалась модифицированная сеть Inception-ResNet. Классификация в обоих случаях осуществлялась методом опорных векторов. Оба подхода также использовали несколько методов для отбора значимых признаков, включая ReliefF, FSCNCA и LASSO. В следующей части второй главы автор обсуждает проблему обнаружения и классификации скоплений кальцинатов. Егошиным И.А. была разработана отдельная методика, которая представляет эти скопления как яркие однородные точки с резким контрастом на границах и различным количеством объектов разной площади, формы и распределения по кластеру.

В главе 3 диссертации автор обсуждает результаты проверки новых алгоритмов и методов, проведенные численные испытания и их анализ. Представлены таблицы с данными о работе методов и их эффективности при различных патологических изменениях на изображениях молочных желез. Кроме того, автор проводит сравнение новых алгоритмов с уже существующими методами.

В заключении приводятся основные результаты диссертации.

**Значимость полученных результатов.** Разработка диссертантом алгоритмов и методов, учитывающих особенности функции яркости изображения на основе предложенных модельных положений, представляет теоретическую значимость работы. Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности предложенного подхода к анализу маммографических изображений, превосходящего известные решения. Изучение данных алгоритмов и методов может повысить эффективность решения прикладных задач. Внедрение разработанных методов и алгоритмов в клиническую практику имеет большую практическую значимость в сфере медицины, так как помогает в раннем диагнозе рака молочной железы. Это позволяет специалистам быстрее и точнее обнаруживать опухоли и предпринимать необходимые меры для их лечения. Также алгоритмы, реализованные автором, могут применяться и для других задач, связанных с анализом изображений, полученных при рентгенографии.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.** Разработанные методы и алгоритмы могут быть использованы для создания компьютерной системы, способной диагностировать патологические образования на ранних стадиях, что поможет принимать решения о дальнейшем обследовании пациентов.

Методика на основе алгоритма вложенных контуров позволяет обнаруживать образования на более ранней стадии, что критически важно для увеличения шансов на выживание пациентов. Предложенные алгоритмы также могут помочь снизить нагрузку на врачей и ускорить процесс обработки и анализа медицинских изображений. Кроме того, автоматическое обнаружение образований позволяет улучшить качество медицинской диагностики и уменьшить вероятность ошибок в интерпретации изображений.

**Обоснованность и достоверность.** Достоверность результатов диссертации подтверждается строгими математическими выкладками. Научные результаты обосновываются вычислительными экспериментами и находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Диссертация Егошина И.А. обладает внутренним единством, написана хорошим языком, содержит подробный анализ существующих работ и богатую библиографию, включающую актуальные публикации последних лет. Для каждой из задач подробно описываются недостатки их существующих решений, объясняются причины этих недостатков. При выводе новых алгоритмов и методов обосновываются, как именно эти недостатки устраняются, какие преимущества имеют разработанные методы по сравнению с существующими.

В диссертации корректно вводятся переменные и выражения, для всех разработанных алгоритмов приводятся их детальные описания и перечни использованных параметров. Для используемых в экспериментах наборов данных приводятся ссылки на первоисточники.

**Автореферат** полностью и точно отражает содержание диссертации. Диссертационное исследование посвящено исследованию методов и разработке новых алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений и соответствует паспорту специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Замечания.** Существенных замечаний по работе нет. Но могут быть отмечены лишь следующие недостатки:

- Позволяют ли разработанные методы и алгоритмы полностью автоматизировать процесс анализа маммограмм и исключить участие врача-специалиста из данного процесса? Т.е. возможно ли провести сравнение эффективности разработанных алгоритмов с эффективностью визуального анализа маммограмм врачом-специалистом на обширной базе данных.

- В диссертационной работе не представлены ссылки на публичные репозитории автора диссертации, содержащие открытые исходные коды разработанных программ с их

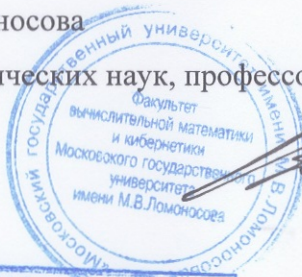
реализацией. Этот фактор обеспечил бы воспроизводимость вычислительных экспериментов, проведенных в исследованиях.

**Заключение.** Диссертация Егошина И.А. «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, посвященную актуальной и активно развиваемой тематике, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Работа соответствует паспорту специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» для технических наук, в частности пункту 2 (Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий), пункту 3 (Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента), пункту 8 (Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента) и пункту 9 (Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий).

Таким образом, диссертант Егошин Иван Александрович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв ведущей организации на диссертацию обсужден и утвержден на расширенном заседании лаборатории математических методов обработки изображений факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова, протокол № 2 от 10 января 2025 г.

Заведующий лаборатории  
Математических методов обработки изображений  
Факультета вычислительной математики и кибернетики  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
доктор физико-математических наук, профессор



А.С. Крылов

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Зав. канцелярией  
И.С. Сихарулидзе  
Подпись \_\_\_\_\_

Заместитель декана по НИР,  
д.ф.-м.н.



В.В. Фомичев

Адрес ведущей организации:

119991, г. Москва, Ленинские горы, дом 1.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Телефон: (495) 939-27-29

Адрес электронной почты: [info@rector.msu.ru](mailto:info@rector.msu.ru)

Web-сайт организаци: <http://www.msu.ru>