

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.01,
созданного на базе Федерального государственного учреждения
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), по диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело №_____
решение диссертационного совета от «18» февраля 2025 № 2

О присуждении Егошину Ивану Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 25 ноября 2024 г., протокол № 13, диссертационным советом 24.1.224.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

Соискатель Егошин Иван Александрович, 1991 года рождения, в 2013 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет» по специальности «Прикладная математика и информатика» с присуждением квалификации «Математик, системный программист». С 2013 по 2016 гг. обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет» по научной специальности – 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ» и сдал кандидатские экзамены. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2024 г. ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет». В период подготовки диссертации соискатель Егошин Иван Александрович работал в ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» в должности младшего научного сотрудника, участвовал в качестве исполнителя в научных грантах Российского научного фонда (проекты 22-71-10070 и 24-21-00031), выполняемых на базе ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет».

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском секторе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент, Колчев Алексей Анатольевич, доцент кафедры радиоастрономии в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Научный консультант – кандидат медицинских наук, доцент, Пасынков Дмитрий Валерьевич, заведующий кафедрой лучевой диагностики, онкологии в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Марийский государственный университет».

Обоснование необходимости назначения научного консультанта:

На этапе планирования работы четко обозначилась необходимость привлечения специалиста, обладающего глубокими познаниями в области маммографической диагностики рака молочной железы и имеющего как собственные разработки в этой области, так и обширную базу изображений гистологически верифицированной патологии молочной железы. Помощь научного консультанта потребовалась также для грамотного формирования базы данных маммографических изображений, последующей их разметки

при разработке и тестировании разрабатываемых методов, а также для интерпретации полученных результатов оценки эффективности алгоритмов и методов для определения их значимости и возможности применения в клинической практике.

Официальные оппоненты:

1. Сизиков Валерий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор факультета программной инженерии и компьютерной техники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

- 1) Не пояснено, что такое суммационные маммографические изображения и чем отличается маммография от рентгеновской компьютерной томографии (РКТ), а также инфракрасной томографии (ИКТ) и ядерно-магнитно-резонансной томографии (МРТ).
 - 2) В работе не обосновано, почему в качестве метода решения задачи обнаружения патологических изменений на маммограммах выбран именно метод YOLO – метод одноэтапного детектора глубокого обучения.
 - 3) Для предложенной методики обнаружения скоплений кальцинатов не приведено сравнение с другими известными методами. Это позволил бы расширить значимость данного исследования.
 - 4) Приведение в тексте исследования автора возможных областей применения разработанных методов и алгоритмов в других задачах, отличающихся от использования маммограмм, позволило бы расширить применимость диссертационного исследования.
2. Шлеймович Михаил Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и

управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

- 1) При описании алгоритма вложенных контуров не указан способ определения критических точек для параметров, используемых при сопоставлении линий уровня.
- 2) В методе обнаружения изменений на маммограммах с помощью одноэтапного детектора глубокого обучения YOLOv4 используется предварительная обработка изображений на основе анализа гистограммы интенсивности. Однако не приведено обоснование выбора используемых здесь алгоритмов и не описано влияние их параметров на работу детектора.
- 3) Одна из методик классификации изменений на изображениях молочной железы базируется на использовании признаков Харалика, Тамуры и инвариантных моментах Ху. Однако не приведены причины выбора данных признаков.
- 4) При описании методик классификации изменений на изображениях молочной железы указано применение алгоритмов выбора признаков ReliefF, FSCNCA и LASSO. Однако не приведены обоснования выбора этих алгоритмов и способы определения их параметров.
- 5) Для классификации изменений на изображениях молочной железы используется линейный метод SVM, который эффективен в случае линейной разделимости классов в пространстве признаков. Однако не ясно обладают ли полученные векторы признаков указанным свойствам.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» – в своем **положительном** отзыве, подписанном Крыловым Андреем Серджевичем,

доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией Математических методов обработки изображений МГУ имени М.В. Ломоносова, указала, что «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 развивающейся 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, диссидентант Егошин Иван Александрович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».»

Отзыв ведущей организации 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.

Замечания:

1) 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.

2) В диссертационной работе не представлены ссылки на публичные репозитарии автора диссертации, содержащие открытые исходные коды разработанных программ с их реализацией. Этот фактор обеспечил бы воспроизводимость вычислительных экспериментов, проведенных в исследованиях.

Соискатель имеет 22 опубликованные научные работы по теме диссертации, в том числе 1 работа в журнале, рекомендованном ВАК, 6 публикаций в научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus по группе научных специальностей диссертации, включая 4 статьи в изданиях Q1 и Q2 квадриля, 8 – в трудах конференций, всего 11 публикаций в изданиях категории К1 и К2 и приравненных к ним, получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Недостоверных сведений об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, не обнаружено. Диссертация не нарушает п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор указал личный вклад в опубликованные с соавторами работы.

Список наиболее значимых публикаций:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Егошин И.А. Оценка обобщающей способности алгоритма вложенных контуров при анализе маммограмм // Труды ИСА РАН. – 2024. – Том 74. – № 3. – С. 67-77. (К-2)

В изданиях, индексируемых Scopus / WoS:

2. Egoshin, I.A., Pasynkov, D.V., Kolchev, A.A., Kliouchkin, I.V., Pasynkova, O.O. Segmentation of Breast Focal Lesions on the Ultrasound Image // Biomedical Engineering. 2020. — vol. 54. — no. 2. — pp. 99-103. (**K-1, Scopus**)
3. Kolchev, A., Pasynkov, D., Egoshin, I., Kliouchkin, I., Pasynkova, O., Tumakov, D. YOLOv4-Based CNN Model versus Nested Contours Algorithm in the Suspicious Lesion Detection on the Mammography Image: A Direct Comparison in the Real Clinical Settings // Journal of Imaging. — 2022. — 8(4): 88. (**K-1, Scopus Q2, WoS**)
4. Kolchev, A.A., Pasynkov, D.V., Egoshin, I.A., Kliouchkin, I.V., Pasynkova, O.O. Cystic (including atypical) and solid breast lesion classification using the different features of quantitative ultrasound parametric images // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. — 2022. — vol. 17. — Iss. 2. — pp. 219-228. (**K-1, Scopus Q1, WoS**)
5. Pasynkov, D.V., Kolchev, A.A., Egoshin, I.A., Klioushkin, I.V., Pasynkova, O.O. A Method for Automatic Calculation of the Diameter of a Pulsating Blood Vessel on Ultrasound Images in Video Stream Mode // Biomedical Engineering. — 2023. — vol. 57. — no. 1. — pp. 23-27. (**K-1, Scopus**)
6. Пасынков Д.В., Колчев А.А., Егошин И.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Метод сегментации солидного очагового образования молочной железы и его периферического компонента на ультразвуковых изображениях // Компьютерная оптика. — 2023. — Т. 47. — № 3. — С. 407-414. (**K-1, Scopus Q1, WoS**)
7. Колчев А.А., Пасынков Д.В., Егошин И.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Classification of benign and malignant solid breast lesions on the ultrasound images based on the textural features: the importance of the perifocal lesion area // Компьютерная оптика. — 2024. — 48(1): С. 157-165. (**K-1, Scopus Q1, WoS**)

В изданиях, индексируемых Scopus по смежным научным специальностям:

8. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Эффективность системы компьютерного анализа маммограмм в диагностике вариантов рака молочной железы, трудно выявляемых при скрининговой маммографии // Российский электронный журнал лучевой диагностики. — 2019. — 9(2): С. 107-118. (**K-1, Scopus Q3, RSCI**)

9. Пасынков Д.В., Тухбатуллин М.Г., Егошин И.А., Колчев А.А., Клюшкин И.В. Ультразвуковой скрининг рака молочной железы при маммографически плотной паренхиме: роль системы компьютерного анализа маммограмм (одноцентровое проспективное рандомизированное клиническое исследование) // Российский электронный журнал лучевой диагностики. — 2021 — 11(1): С. 103-113. (**K-1, Scopus Q3, RSCI**)

В изданиях, рекомендованных ВАК по смежным научным специальностям:

10. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Клюшкин И.В., Бусыгина О.В. Сравнительный анализ диагностической ценности систем компьютерного анализа маммограмм I и II поколений // Медицинская визуализация. — 2017. — №1. — С. 90-102. (**K-1**)

11. Kolchev, A., Egoshin, I. Use of Hazard Function for Signal Detection on Ionograms // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. — 2018. — Vol. 15, Iss. 6. — pp. 803-807. (**K-1, Scopus Q1**)

12. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Цветовое картирование серой шкалы с математическим анализом ультразвукового изображения в дифференциальной диагностике кистозных и солидных образований молочной железы // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2020. — Т. 101. — №3. — С. 136–146. (**K-3**)

На автореферат поступило шесть положительных отзывов, которые подписали:

1. Рояк Михаил Эммануилович, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Существенных замечаний по содержанию и стилистике автореферата нет. Некоторые экспериментальные результаты описаны кратко, а акцент сделан на теоретических результатах и предложенных алгоритмах.

2. Роженцов Алексей Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, первый проректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет». Замечания к автореферату и диссертации отсутствуют.

3. Чикаев Вячеслав Федорович, доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и ХЭС Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России. Замечаний по содержанию и стилю автореферата нет.

4. Гробова Татьяна Анатольевна, кандидат физико-математических наук, доцент, и.о. декана факультета математики и компьютерных наук имени Н.И. Червякова, доцента кафедры математического анализа алгебры и геометрии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». Замечания к автореферату и диссертации отсутствуют.

5. Шарин Евгений Федорович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры алгебры, геометрии, математический анализа и дифференциальных уравнений Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. В автореферате не обнаружено существенных недостатков.

6. Юрий Владимирович Авраменко, кандидат технических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики систем и теории управления имени

В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук.
Замечания по тексту автореферата:

- 1) В работе используются различные термины для одного и того же понятия, например, стр. 20-21 автореферата в заключении для понятия «точность» используются три термина: пункт 1 - чувствительность, пункт 3 - precision, пункт 5 - точность.
- 2) Для оценки качества работы алгоритмов и методик в работе используется показатель «Точность», рекомендуется использовать показатель «Fl-мера», т. к. она учитывает «Полноту», что дает более детальное представление о качестве работы алгоритмов.
- 3) На стр. 13 Рис 3б говорится о расчете центра масс для области интереса. Непонятно, как строится центр масс, для всей области интереса или по одной из изолиний, всегда ли центр масс содержится внутри контура и что происходит в ином случае.

Имеется два акта об использовании результатов диссертационных исследований И.А. Егошина, которые утвердили:

1. Принцев Александр Николаевич, главный врач Государственного бюджетного учреждения Республики Марий Эл «Республиканский клинический онкологический диспансер».
2. Леухин Анатолий Николаевич, доктор физико-математических наук, проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области распознавания образов и машинного обучения, методов математического моделирования и методов цифровой обработки изображений, что подтверждается их исследованиями и публикациями в высокорейтинговых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан и программно реализован метод обнаружения подозрительных изменений молочной железы на маммограммах на основе предложенного алгоритма вложенных контуров и рассматриваемой модели образований, который демонстрирует высокую чувствительность (90,73%) не только в случаях типичных и хорошо видимых изменений, но и в случаях атипичных и невидимых изменений, которые не рассматривались в предыдущих опубликованных работах. **Получены** результаты оценки эффективности алгоритма вложенных контуров по сравнению с одноэтапным детектором YOLOv4.

2. Разработана оригинальная методика сегментации подозрительных изменений на маммографических изображениях, основанная на **предложенной** модели, где модуль градиента растет в направлении от вершины образования к его границе, и не искажающая границы исследуемого объекта, а также впоследствии не влияющая на извлечение текстурных и/или геометрических признаков изменений молочной железы. **Показано**, что предлагаемая методика обеспечивает высокую точность (средняя метрика «Пересечение над объединением» (IoU) по всем типам изменений составила 76%, Precision — 94%) сегментации изменений молочной железы, что необходимо для последующей классификации предполагаемых типичных и нетипичных очагов.

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

4. Разработана и программно реализована новая методика классификации доброкачественных и злокачественных скоплений кальцинатов на маммографических изображениях, отдельно учитываящая

скопления кальцинатов в сосудах в виде модели линейных объектов и обеспечивающая снижение частоты ложноположительных откликов алгоритма вложенных контуров. **Показано**, что точность классификации предложенной методики составляет 96,15%.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке алгоритма вложенных контуров, анализирующего линии уровня на изображении. Приведенные результаты дают основания полагать, что подобный подход к анализу изображения обладает точностью, превосходящей или сопоставимой с известными решениями. Изучение предложенного алгоритма представляет интерес и потенциально способно повысить качество и эффективность решения прикладных задач анализа изображений, в том числе маммографических.

Практическая значимость работы определяется тем, что использование разработанных методов и алгоритмов повышает точность анализа маммографических изображений. Эти методы могут быть применены для создания компьютерной системы диагностики опухолей на ранних стадиях, что помогает в принятии решений о необходимости и стратегии последующего обследования пациентов. Предложенная методика на основе алгоритма вложенных контуров потенциально способна обнаруживать образования на более ранней стадии, что критически важно для повышения шансов на выживание пациенток. В целом, внедрение разработанных алгоритмов в клиническую практику может способствовать повышению выживаемости пациенток за счет улучшения выявляемости различных вариантов рака молочной железы в более ранней стадии.

Кроме этого, разработанные алгоритмы и методы могут быть использованы для задач, связанных с использованием рентгеновских лучей, когда исследуются суммационные снимки: в промышленности — дефектоскопия, в науке — строение вещества, в криминалистике — обнаружение запрещённых предметов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теоретические результаты обоснованы строгим применением математических методов;
- результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях и прошли апробацию на ведущих международных профильных научных конференциях;
- результаты, полученные путем аналитического и численного моделирования, соответствуют результатам экспериментальных исследований, выполненных в рамках диссертационной работы и другими исследователями;
- эффективность разработанных алгоритмов подтверждена натурными испытаниями и повторяемостью результатов на реальных экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке новых методов, алгоритмов и написании программного обеспечения;
- проведении численных экспериментов и обработке их результатов;
- анализе литературных источников и подготовке научных публикаций по полученным результатам.
- аprobации результатов исследования.

Соискатель Егошин И.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

На заседании «18» февраля 2025 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013г., и принял решение присудить Егошину И.А. ученую

степень кандидата технических наук за решение научной задачи разработки алгоритмов обработки и анализа суммационных маммографических изображений для повышения точности и достоверности неинвазивной диагностики рака молочной железы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 30 человек, из них 12 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 36 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение ученой степени – 30, «против» присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.224.01

д.т.н., профессор, академик РАН

Ю.С. Попков

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.224.01

д.т.н., доцент

Smirnov И.В. Смирнов

«18» февраля 2025 г.

