

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и инновационной
деятельности ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)),

д.т.н. А.А. Семенов

«27» 02 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертационную работу Демина Никиты Сергеевича «Интеллектуальная система анализа биомедицинских данных для поддержки врачебных решений при лазерокоагуляции сетчатки глаза», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Актуальность темы диссертации

Настоящее время характеризуется активной разработкой и внедрением различных систем поддержки принятия решений в сфере здравоохранения. Внедрение в практику здравоохранения искусственного интеллекта, современных информационных технологий цифровой медицины стремительно изменяет способы диагностики и лечения, формы взаимодействия врачей с пациентами и коллегами, организацию лечения и восстановления здоровья. Все чаще применяются роботизированные системы, которые обеспечивают поддержку диагностики и лечения заболеваний. Представленные в работе исследования направлены на разработку методов автоматизации принятия решений для лечения диабетической ретинопатии на основе совместного интеллектуального анализа гетерогенных биомедицинских данных: данных оптической когерентной томографии (ОКТ) и изображений глазного дна. Актуальность работы состоит в том, что на текущий момент отсутствуют готовые решения для автоматического формирования эффективного плана коагуляции на основе информационных интеллектуальных систем обработки изображений глазного дна. Для формирования

Входящий № 206-10864
Дата 08 ДЕК 2025
Самарский университет

оптимального плана проведения операции необходимо выделение зоны лазерокоагуляции с учетом анатомических особенностей строения сетчатки глаза. Рекомендуется избегать воздействия лазера на неповрежденные участки и тонкие сосуды, тем самым повышая эффективность лазерной операции. В мировых публикациях представлены различные применения методов интеллектуального анализа глазного дна, однако предлагаемые подходы не позволяют сформировать эффективный план коагуляции. Актуальность темы диссертации также определяется необходимостью разработки информационной системы для локализации областей отёка на изображениях глазного дна и его интеллектуального анализа для поддержки операции лазерной коагуляции с целью повышения её эффективности.

Структура диссертации и ее краткое содержание

Диссертация Демина Никиты Сергеевича состоит из введения, пяти разделов основного текста, заключения, семи приложений и списка литературных источников.

Список литературы состоит из 104 наименований на русском и английском языках. Анализ состояния проблемы, проведенный в **первом разделе** диссертации, является достаточно подробным и полным. Итогом такого анализа является обоснование целесообразности решаемых задач.

Во втором разделе диссертации рассматривается задача сегментации изображений глазного дна. В рамках решения задачи были исследованы два основных подхода семантической сегментации изображений глазного дна: сегментация с помощью текстурных признаков в различных цветовых пространствах и с помощью нейронных сетей типа U-net. Проведенные исследования подтвердили, что нейронные сети превосходят текстурные признаки по большинству классов, однако текстурные признаки способны лучше отделять классы твёрдых эксудатов и кровяных сосудов.

В третьем разделе диссертации решается задача сегментации данных ОКТ. Данные ОКТ важны тем, что предоставляют информацию о внутреннем строении сетчатки глаза. В рамках проведенных исследований автором были предложены два метода:

- 1) метод сегментации, основанный на кластеризации с использованием разреза графа;
- 2) метод сегментации с помощью модифицированной нейронной сети ReLayNet.

В ходе проведенных в работе экспериментов диссертантом было показано, что метод на основе разреза графа позволяет выделять только общую область сетчатки в отличии от нейронной сети, а также проигрывает в точности по метрике Дайса. Использование в качестве предобработки метода Кенни позволило автору использовать метод кластеризации как метод сегментации. Автором разработана нейронная сеть типа U-net для сегментации слоя сетчатки на снимках оптической когерентной томографии на основе упрощения нейронной сети ReLayNet. В ходе проведенных исследований с помощью k-fold кросс-валидации было доказано преимущество разработанной сети относительно классической U-net.

В четвертом разделе диссертации предложен метод выделения области лазерного воздействия, основная цель которого – постепенное уточнение зоны лазерного воздействия с учётом точности определения тех или иных анатомических структур и областей на изображениях глазного дна.

Для выделения области отёка на изображении глазного дна автор предлагает совместить результат обработки данных ОКТ и снимка глазного дна. Был рассмотрен метод выделения области отёка на изображениях глазного дна на основе совмещения снимка глазного дна и снимка с фундус камеры томографа. В ходе исследования было выявлено, что использование метода SIFT позволяет добиться хорошего совмещения при условии наличия снимка с фундус камеры.

В работе предложен метод оценки адекватности полученной матрицы пространственного преобразования на основе оценок её составляющих. С помощью метода поиска по сетке была вычислена матрица преобразования, которую можно использовать как общую матрицу в случаях, когда вычисленная гомография не реализуема. Была также обучена нейронная сеть для выделения области отёка без использования данных ОКТ. В ходе эксперимента было выявлено, что наилучшей сетью по метрике $f1$ является Unet++.

В пятом разделе диссертации автором предложен и исследован алгоритм дифференциальной диагностики отёка сетчатки. В ходе проведенных исследований автором было выявлено, что использование хориоидального индекса на исследуемом наборе данных не позволяет построить классификатор для разделения заболеваний ДМО и ВМД. Для решения задачи разделения ВМД и ДМО был разработан алгоритм, основанный на анализе контура пигментного эпителия и проведении статистической оценки различия кривых у пациентов с возрастной макулярной дегенерацией и диабетическим макулярным отёком. Проведенные исследования показали, что отклонение от аппроксимирующего контура пигментного эпителия у пациентов с ВМД больше, чем у пациентов с ДМО, что соответствует проявлению друзов на снимках ОКТ.

Для выявления противопоказаний к лазерокоагуляции при диабетическом макулярном отёке автором представлен метод разделения предполагаемого лечения на укол или лазерную коагуляцию на основе поиска области центральной ямки и детектирования её поражения отёком.

Заключение диссертации содержит формулировки основных результатов и выводов, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения задач диссертационного исследования, а также рекомендации по использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Таким образом, содержание диссертации позволяет судить о завершенности и необходимой полноте проведенных исследований, а также содержит достаточно материала, свидетельствующего о достоверности и обоснованности полученных выводов.

В целом, диссертационная работа выполнена на высоком уровне. Автореферат отражает основные аспекты диссертационного исследования.

Научная новизна проведённых исследований и полученных результатов

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Разработан способ выделения зоны лазерного воздействия на изображениях глазного дна на основе совместной обработки данных оптической когерентной томографии и изображений глазного дна с применением методов искусственного интеллекта. Способ основан на исключении из зоны отека запрещенных и нецелесообразных для лазерокоагуляции областей и позволяет сформировать эффективный плана коагуляции и минимизировать травмирующие лазерное воздействие на сетчатку.

2. Для повышения точности формирования области лазерного воздействия предложен и исследован способ интерпретации областей на изображениях, учитывающий патологические и анатомические особенности, в основе которого лежит семантическая сегментация на 8 классов. Ранее в работах использовалась сегментация снимков глазного дна на 4 класса (сосуды, экссудаты, область макулы и область зрительного диска), что не позволяет полноценно выделить зону отёка сетчатки и затрудняет формирование эффективного плана коагуляции.

3. Разработан алгоритм дифференциальной диагностики отёка сетчатки, позволяющий разделять диабетический отёк и отёк, вызванный возрастной макулярной дегенерацией (ВМД), на основе анализа друз и месторасположения отёка. Алгоритм позволяет определить стратегию дальнейшего лечения.

4. Создана новая интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений при операции лазерокоагуляции на основе анализа совместных данных оптической когерентной томографии и изображений глазного дна, обеспечивающая формирование персонализированного плана коагуляции.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата, полным соответствием теоретических положений и результатов экспериментальных исследований. Полученные в ходе экспериментальных исследований на тестовых и натуральных биомедицинских данных научные результаты соответствуют результатам работ других авторов.

Основные результаты работы опубликованы в российских и международных рецензируемых научных журналах. Основные результаты диссертационного исследования изложены в 26 научных работах в рецензируемых изданиях, включенных в международную наукометрическую базу Scopus и рекомендованных ВАК РФ.

Значимость результатов диссертации для науки и практики

Результаты диссертационной работы имеют большое научное и практическое значение для области медицинского приборостроения, в частности для построения систем диагностики и лечения заболеваний.

Полученные результаты, выводы и рекомендации могут быть использованы в теоретических и прикладных исследованиях методов обработки изображений глазного дна, а также в исследованиях сосудистой патологии в медицинской практике. Результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы для создания систем обработки биомедицинских изображений-глазного дна.

Автором получены научно обоснованные технологические решения, позволяющие повысить качество медицинской диагностики и лечения диабетического макулярного отёка.

Практическая значимость проведенных в диссертации исследований заключается в применении полученных результатов в интеллектуальной системе формирования плана коагуляции для поддержки операции лазерной коагуляции. Система позволяет формировать эффективный план операции для достижения лучшего терапевтического эффекта с минимальным травмирующим фактором лазерного воздействия на сетчатку глаза. Практическая значимость подтверждается актом внедрения результатов диссертации в научных исследованиях и медицинской

практике Самарской областной клинической офтальмологической больницы имени Т.И. Ерошевского.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в образовательных, научно-исследовательских и лечебно-профилактических учреждениях, занимающихся вопросами систем поддержки принятия решений для диагностики и лечения диабетического макулярного отёка.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации отсутствует единый список сокращений, что усложняет чтение работы при большом количестве сокращений в работе.

2. В работе для сегментации изображений глазного дна рассматриваются лишь нейронные сети, являющиеся модификацией архитектуры Unet. Однако не указано почему не рассматривались другие принципиально отличающиеся архитектуры.

3. В четвертой главе указано, что для контроля над реализуемостью и применимостью матрицы гомографии производится её разложение на составляющие, но не указан способ разложения.

4. Для выделения области отёка без данных ОКТ были рассмотрены различные архитектуры нейронных сетей. Однако не обосновано почему именно эти архитектуры рассматривались в рамках работы и почему не использовались модификации Unet, как во втором разделе.

5. Не очень понятен алгоритм, когда используется совмещение, когда рассчитанная общая матрица преобразования, а когда область отёка выделяется без использования данных ОКТ.

6. В пятой главе нет явных указаний формул кривых и поверхностей, которые используются для аппроксимации.

Перечисленные замечания в целом не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Демина Никиты Сергеевича на тему «Интеллектуальная система анализа биомедицинских данных для поддержки врачебных решений при лазерокоагуляции сетчатки глаза» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки и внедрения в практическое здравоохранение интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для проведения операции лазерной коагуляции сетчатки глаза

решений, что позволяет значительно сократить время, необходимое для анализа изображений, что особенно важно при массовых скринингах и в условиях ограниченных ресурсов. Сформулированные выводы достаточно обоснованы, основные полученные результаты в полной мере отражены в имеющихся авторских публикациях, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ и изданиях Scopus. Работа отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. и требованиям паспорта специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Автор диссертации, Демин Никита Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Биотехнических Систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)». Протокол № 9 от 27 ноября 2025г.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой биотехнических систем ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доктор технических наук, профессор



Юлдашев Зафар Мухамедович

Электронная почта: zmyuldashev@etu.ru

Телефон: +7 812 234-01-33

«27» ноября 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Почтовый адрес: 197022, город Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5, литера Ф,

Телефон: +7 (812) 234-46-51

e-mail: info@etu.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
НАЧАЛЬНИК ОДС
Т.Л. РУСЯЕВА

