

ОТЗЫВ

официального оппонента Крамма Михаила Николаевича
на диссертационную работу Хрящева Владимира Вячеславовича
«Система поддержки принятия врачебных решений на основе анализа
эндоскопических видеоизображений с применением методов искусственного
интеллекта», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Актуальность диссертационной работы

В настоящее время эндоскопические исследования – один из самых распространенных видов лечебной высокотехнологичной диагностики. Это связано с высоким уровнем информативности такого исследования, а также возможности выявления новообразований на ранних стадиях их развития.

Эндоскопия является ключевым методом диагностики предраковых состояний и раннего рака органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) в рамках скрининговых программ и диспансерного наблюдения. Однако такие исследования должны проводиться врачами экспертного уровня ввиду их исключительной трудоемкости из-за высокой вариативности изображений слизистой ЖКТ и множества визуальных артефактов. Сложность интерпретации приводит к тому, что даже опытные специалисты могут пропускать до четверти патологий, а острая нехватка высококвалифицированных эндоскопистов делает массовый скрининг в текущий момент практически неосуществимым.

Частичным решением этих проблем может стать внедрение систем искусственного интеллекта (ИИ), способных анализировать видеоданные в реальном времени. Чаще всего они выполняют две основные функции: контроль качества осмотра слизистой и поддержка принятия врачебных решений, автоматически обнаруживая и классифицируя патологические области. Их использование позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, повысить достоверность диагностики и расширить охват скрининговых программ даже при ограниченном числе специалистов экспертного класса, работающих в данном регионе.

Создание подобных интеллектуальных систем представляет собой сложную научно-техническую задачу. Помимо выбора оптимальной архитектуры нейронной сети, обычно используемой для решения подобных задач, исследователи сталкиваются с многочисленными вопросами, связанными с обработкой видеоданных: необходимостью их тщательной разметки, аугментации изображений новообразований, разработки

алгоритмов, устойчивых к низкой контрастности эндоскопических изображений и наличию типовых артефактов. Внедрение методов ИИ для систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в эндоскопии ЖКТ позволит не только повысить точность диагностики, но и создать эффективные программные инструменты для обучения новых поколений врачей-эндоскопистов.

Для повышения достоверности эндоскопических исследований ЖКТ необходима разработка и исследование новых методов обработки и анализа видеоизображений с целью снижения доли пропущенных патологий, влияния человеческого фактора, стандартизации заключений и контроля качества исследований. Решению этих задач и посвящена рассматриваемая диссертационная работа, что позволяет считать ее актуальной на данном этапе развития технологий обработки и автоматического анализа эндоскопических видеоизображений методами искусственного интеллекта.

Общая характеристика диссертационной работы. Она состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, содержащего 315 наименований, и приложения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены существующие подходы к построению СППВР для скрининговых и клинических эндоскопических исследований ЖКТ. Проведен обзор методов и алгоритмов ИИ и цифровой обработки видеоизображений, применяемых для их построения.

Во второй главе описаны разработанная концепция построения СППВР в эндоскопии ЖКТ и усовершенствованная архитектура системы ИИ, работающей в качестве ее программного ядра в условиях практической ограниченности входного набора аннотированных видеоизображений.

Третья, четвертая и пятая главы посвящены практической апробации разработанной концепции для решения ряда задач в колоноскопии и гастроскопии ЖКТ. В них разработаны: метод контроля качества колоноскопического исследования, алгоритмы детектирования и сегментации колоректальных полипов, алгоритмы детектирования и классификации патологий на эндоскопических видеоизображениях желудка.

В шестой главе производится тестирование предложенных методов и алгоритмов в рамках аппаратно-программных комплексов на эндоскопических видеоизображениях в условиях реальной клинической практики.

В заключении подведены итоги и обобщены результаты работы.

Содержание диссертации соответствует сформулированной цели и задачам исследования.

Новизна и достоверность основных выводов и результатов работы

В диссертации получены следующие новые научные результаты.

1. Разработана концепция построения СППВР в эндоскопии ЖКТ на основе методов и алгоритмов глубокого машинного обучения, отличающаяся оригинальными методами цифровой обработки изображений и видеопоследовательностей, позволяющая расширить функциональные возможности ее применения в условиях практической ограниченности входного набора аннотированных видеоданных.
2. Усовершенствована архитектура системы искусственного интеллекта, работающей в качестве программного ядра для СППВР, что позволило создать дополнительные модули и алгоритмы, результаты работы которых по точности обнаружения и классификации патологий на видеоданных сопоставимы со средним результатом, показываемым врачом во время эндоскопической процедуры.
3. Предложена методология расширения баз эндоскопических изображений и видеоданных для обучения, валидации и тестирования систем искусственного интеллекта, позволяющая снизить нормированные трудозатраты врачей-эндоскопистов.
4. Усовершенствованы с учетом специфики видеоэндоскопических данных алгоритмы обработки и анализа видеоизображений, учитывающие априорную информацию об объекте исследования и явление межкадровой корреляции видеоданных.
5. Разработан метод для контроля качества колоноскопического исследования за счет реализации оригинальных алгоритмов детектирования купола слепой кишки, отличающийся использованием алгоритмов сопровождения областей интереса и анализа оптического потока.
6. Созданы робастные алгоритмы детектирования и сегментации полипов на колоноскопических видеоданных, работающие в условиях ограниченности входного набора аннотированных видеоизображений.
7. Разработаны робастные алгоритмы детектирования и классификации аномальных областей (раг, ранний рак, иные патологии) на гастроскопических видеоизображениях желудка, позволяющие повышать достоверность диагностики в стандартном режиме и в режиме с оптическим увеличением.

Достоверность результатов подтверждается тем, что при разработке

СППВР корректно использованы положения, основанные на общепризнанном математическом аппарате. Вводимые допущения и ограничения моделей и алгоритмов соответствуют известным в эндоскопии ЖКТ положениям. Обоснованность подходов к построению алгоритмов обработки видеоизображений, выбору параметров нейросетевых моделей и способов построения СППВР подтверждается положительными результатами экспериментальных исследований, выполненных на современном сертифицированном эндоскопическом оборудовании, а также их согласованием с аналогичными результатами, известными из российских и зарубежных научно-технических источников

Практическая значимость результатов, полученных в диссертации, заключается в повышении достоверности диагностики онкологических и других заболеваний при скрининговых и клинических исследованиях ЖКТ.

В рамках диссертации решен ряд важных задач для поддержки принятия врачебных решений. Усовершенствованные методы и алгоритмы ИИ позволяют автоматически обнаруживать области рака и другие патологии, а также контролировать качество проведения эндоскопических исследований. Предложенные нейросетевые алгоритмы с точностью свыше 80-90% детектируют и сегментируют колоректальные полипы, а также идентифицируют купол слепой кишки для контроля полноты колоноскопии. Соответствующие аппаратно-программные решения внедрены и используются в Ярославской областной клинической онкологической больнице и национальном медико-хирургическом центре им. Н.И. Пирогова.

Для повышения эффективности разработки алгоритмов ИИ разработана и внедрена методика создания аннотированных баз видеоизображений, которая позволила на 35-45% сократить временные затраты врачей на разметку данных. Большинство разработанных нейросетевых алгоритмов построены на открытых архитектурах. Это позволяет проводить интеграцию со сторонними системами, что было успешно сделано с медико-информационной системой «ЭМИС». Кроме того, это также открывает возможности для их использования в проектах по импортозамещению соответствующего медицинского оборудования.

Разработаны и успешно внедрены в лечебных учреждениях программные комплексы на базе зарегистрированного программного обеспечения «EndoscopyVA.RT» и «EndoscopyDSS.Hub». Они основаны на методах ИИ и предназначены для анализа эндоскопических видеоданных в реальном времени и визуализации результатов исследований ЖКТ. Для обучения и дальнейшего развития нейросетевых алгоритмов созданы и зарегистрированы размеченные базы эндоскопических изображений

«IntestinesImages» и «StomachImages».

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 107 научных работ, которые включают 27 публикаций в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России, 3 публикации в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России по другим научным специальностям, 25 публикаций с индексацией в международной системе Scopus, 45 публикаций в сборниках трудов конференций (РИНЦ), 2 патента на изобретение РФ, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных.

Результаты работы внедрены в ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (Пироговский центр, г. Москва), в ГБУЗ ЯО «Клиническая онкологическая больница» (г. Ярославль), в «Медицинский центр диагностики и профилактики» (г. Ярославль), а также в перспективные разработки компаний ООО «А-Вижн» (г. Ярославль), ООО «ЭМИС» (г. Ярославль). В приложении представлены акты о внедрении результатов работы.

Замечания по диссертационной работе

1. Первая глава диссертации преимущественно описывает существующие технологии, методы и проблемы (современное эндоскопическое оборудование, системы ИИ, методы цифровой обработки видеоизображений), но не дает их глубокой критической оценки в аспекте создания современных СППВР для эндоскопии ЖКТ. Недостаточно проведен анализ слабых мест существующих СППВР, нерешенных научных проблем или ограничений упомянутых подходов в контексте современной российской клинической практики.
2. Тестирование алгоритмов и систем для видеопоследовательностей исследований желудка и кишечника проводилось на моделях эндоскопов одного производителя (Olympus). Остается непонятным, как СППВР будет работать с видеоданными от других производителей эндоскопического оборудования (Fujifilm, Pentax и др.) или в более неблагоприятных условиях осмотра (обильное кровотечение, плохая подготовка кишечника).
3. Не указаны аппаратные требования, необходимые для обработки видеоданных разрешением Full HD или 4K в реальном режиме времени. Для внедрения систем СППВР реального времени следовало бы также оценить, совместимо ли предлагаемое аппаратное решение с типовым оборудованием эндоскопических отделений клиник.
4. Стандартные метрики для оценки качества алгоритмов машинного обучения (Precision, Recall, mAP, Dice) в большинстве случаев

рассчитаны для набора статических изображений. В то же время входным объектом для исследований является эндоскопическая видеопоследовательность, для которой важно оценивать стабильность треков и временную согласованность детекции той или иной области патологии. Следовало бы больше внимания уделить особенностям, связанным с анализом именно видеоданных.

5. В предлагаемой концепции (рис. 2.1) упомянута запись результатов в медико-информационную систему, но не описано, как СППВР будет взаимодействовать с распространенными в медицине стандартами DICOM и PACS.
6. Алгоритмы SSformer и Meta-Polyp, которые служат основой для разработок в 4-й главе, не являются полностью лицензионно открытыми (в отличие, например, от алгоритма D-FINE-L). Не приводится анализ правовых ограничений для их внедрения в российскую клиническую практику.
7. Не приводится ряд оценок, важных для практического внедрения СППВР в эндоскопические исследования (стоимость внедрения системы на одно рабочее место, влияние на время проведения исследований). Не проанализировано удобство работы врачей с системой в реальном времени (например, нагрузка из-за дополнительного монитора, рис. 1.14).

Заключение

Указанные недостатки не снижают важности полученных результатов и не носят принципиального характера. Диссертационная работа Хрящева Владимира Вячеславовича представляет собой законченное исследование, в котором решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое значение в области разработки приборов, систем и изделий медицинского назначения, — усовершенствование аппаратно-программных видеоэндоскопических комплексов. Ее решение приводит к повышению достоверности диагностики онкологических и других заболеваний при скрининговых и клинических исследованиях ЖКТ.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы, а ее результаты достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, можно считать, что представленная диссертация соответствует заявленной научной специальности, удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 18.03.2023), предъявляемым к докторским

диссертациям и требованиям паспорта специальности 2.2.12 (п. 2, 10, 14, 19, 20, 21), а ее автор, Хрящев Владимир Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по указанной специальности.

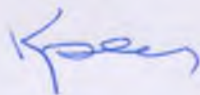
Официальный оппонент

профессор кафедры «Основы радиотехники»

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

университет «МЭИ» (г. Москва),

д.т.н., профессор



Крамм Михаил Николаевич

«02» сентября 2025 г.

Контактные данные: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Адрес: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Телефон: +7 (495) 362-70-44

Адрес электронной почты: ORT@mpei.ru.

Подпись официального оппонента Крамма М.Н. удостоверяю

