

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Пенкина Максима Александровича
на тему: «Гибридные методы анализа и повышения качества
медицинских изображений»
по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ**

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию гибридных методов анализа и повышения качества медицинских изображений и ориентирована на повышение эффективности современных нейросетевых методов за счет использования классических математических методов для сокращения числа и контрастирования признаков классов на этапе целевой предобработки входных изображений. Что соответствует современным запросам на развитие методов обработки медицинских изображений.

Актуальность выбранной темы

Качество медицинских изображений напрямую влияет на достоверность диагностики и эффективность последующего анализа. Методы классической обработки изображений обладают необходимой медицине алгоритмической объяснимостью, но часто уступают по точности современным нейросетевым методам, тогда как последние не являются объяснимыми (эффект черного ящика), имеют высокую зависимость от качества датасетов и высокий риск существенного падения точности в случае доменного сдвига, вплоть до неправильных решений с угрозой для жизни и здоровья пациента. В этой связи разработка гибридных подходов, которые объединяют преимущества обоих классов методов, представляется обоснованной и своевременной научной задачей. Важно также, что задачи реконструкции, улучшения качества и анализа медицинских изображений являются обратными задачами, что делает актуальным применение методов математического моделирования и численного анализа.

Обзор содержания: диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

В **первой главе** рассмотрена проблема подавления осцилляций Гиббса, возникающих при реконструкции МРТ-изображений из данных, зарегистрированных в частотной области (k -пространстве). Автором предложен гибридный метод DGAS9-CNN, сочетающий классические процедуры субпиксельного выравнивания с использованием сверточной нейронной сети. Экспериментальные исследования демонстрируют улучшение стандартных метрик качества изображений по сравнению с традиционными методами, что подтверждает эффективность предложенного подхода и обосновывает соответствующее положение, выносимое на защиту. Предлагаемый гибридный метод обеспечивает значение среднего PSNR по тестовому набору данных в 29.57дБ по сравнению с современными аналогами при одновременном снижении вычислительной сложности (DGAS9-CNN в полтора раза быстрее базовой нейронной сети GAS-CNN). Стоит отметить удачное применение алгоритма Кельнера в предобработке изображений, для сохранения обобщающей способности, и схему агрегации признаков из двух параллельных ветвей извлечения признаков.

Во **второй главе** диссертационной работы рассматриваются методы повышения качества медицинских изображений и их сегментации с использованием нейронных операторов и проекционных архитектур. В первой части главы исследуется применение нейронного оператора Фурье для аппроксимации решения модели анизотропной диффузии Перона-Малика. Теоретические рассуждения подкрепляются экспериментами на наборе МРТ-сканов головного мозга IXI (577 объемов: 400-обучающие; 100-тестовые; 77-валидационные, содержащих три модальности T1, T2 и PD), на которых продемонстрирована устойчивость метода к изменению пространственного разрешения входных данных. Во второй части главы основное внимание уделено разработке и исследованию проекционного метода сегментации медицинских изображений на основе функциональных сетей Колмогорова-Арнольда. Автором предложено обобщение классических сетей Колмогорова-Арнольда на функциональные пространства, что позволило естественным

образом интегрировать данный подход в сверточные нейронные архитектуры и сохранить пространственную структуру изображений. Реализация метода основана на представлении внутренних функций с использованием базисных функций Эрмита. Предложенный метод, FunKAN, проверен на нескольких клинически разнородных наборах данных, включая ультразвуковые, гистологические и колоноскопические изображения. Количественная оценка качества сегментации выполнялась с использованием стандартных метрик IoU и F1, при этом все показатели вычислялись на основе трех независимых запусков обучения с различными значениями генераторов случайных чисел.

В третьей главе разработан метод автоматического выбора масштаба обработки полнослайдовых гистологических изображений предобученными сверточными нейронными сетями. Экспериментально показано, что типичные классификаторы, включая DenseNet121, обладают низкой устойчивостью к масштабу входных данных. Выбор масштаба предлагается осуществлять через геометрическую интерпретацию линейного классификатора – по расстояниям до разделяющих гиперплоскостей в признаковом пространстве. Это позволяет количественно оценивать уверенность модели при разных входных масштабах и выбирать масштаб без дообучения.

Четвертая глава посвящена разработке программного комплекса, предназначенного для обучения гибридных методов. Предложена архитектура системы, основанная на принципах модульности и разделения ответственности, описаны механизмы конфигурации экспериментов и статического анализа кода. Представленный комплекс обеспечивает стандартизацию вычислительных экспериментов и способствует повышению их воспроизводимости.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием стандартных метрик качества и проведением статистически обоснованных экспериментов на медицинских данных различных типов. Результаты работы апробированы на профильных научных конференциях и опубликованы в

рецензируемых изданиях, что дополнительно подтверждает их научную значимость.

Новизна

К числу основных научных результатов, обладающих теоретической и практической новизной, следует отнести:

1. Развитие гибридного подхода к анализу медицинских изображений, основанного на сочетании классических методов математической обработки сигналов и современных нейросетевых технологий.
2. Обоснование эффективности использования нейронных операторов для аппроксимации решений дифференциальных уравнений в задачах обработки изображений.
3. Развитие идеи функционального обобщения сетей Колмогорова-Арнольда, в форме предложенного проекционного метода сегментации, которое представляет большой теоретический интерес и перспективу дальнейшего развития сетей KAN.
4. Практической новизной обладает предложенный в третьей главе метод автоматического выбора масштаба классификации полнослайдовых гистологических изображений для предобученных нейронных сетей. Показано, что отклонение от масштаба, использованного при обучении (доменный сдвиг), может приводить к существенной деградации качества классификации, что делает задачу выбора масштаба критически важной для прикладных систем анализа гистологических полнослайдовых изображений. Разработанный автором метод позволяет определять предпочтительный масштаб без переобучения модели – на основе количественной оценки уверенности классификатора, выраженной через величину отступа до разделяющих гиперплоскостей.

Практическая значимость исследования определяется разработкой методов повышения качества медицинских изображений и их анализа, продемонстрировавших эффективность на реальных данных, а также

созданием программного комплекса, обеспечивающего воспроизводимость вычислительных экспериментов и предложенных решений.

Автореферат диссертации включает основные положения работы и достаточно полно и точно отражает ее содержание.

К недостаткам работы можно отнести:

1. В главе 1 анализ чувствительности гибридного метода к выбору гиперпараметров, объему обучающих выборок и структуре данных представлен в ограниченном объеме, что затрудняет оценку границ применимости метода.
2. В главе 1 не хватает исследования влияния на результат каждого из агрегированных признаков в архитектуре DGAS9-CNN (Рис.1.5).
3. В главе 2 подробно изложена мотивация обобщения теоремы Колмогорова-Арнольда на функциональные пространства, однако выдвигаемая гипотеза остается не до конца обоснованной с точки зрения функционального анализа.
4. В главе 2 выбор базисных функций Эрмита обоснован их связью с преобразованием Фурье и свойствами локализации, однако сравнительный анализ с альтернативными базисами (B-сплайны, полиномы Чебышева) представлен в сжатом виде. Более развернутое обсуждение влияния выбора базиса на устойчивость обучения и качество итоговых результатов могло бы усилить аргументацию.

Вместе с тем, 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 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. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Пенкин Максим Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент
профессор кафедры высокопроизводительных вычислений
и системного программирования
Института информационных технологий, математики и механики
Национального исследовательского Нижегородского
государственного университета имени Н. И. Лобачевского

ТУРЛАПОВ Вадим Евгеньевич

Дата: 16.02.2026

Контактные данные:

тел.: +7 (831) 462-30-03, e-mail: vadim.turlapov@itmm.unn.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика

Адрес места работы:

603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского (Университет Лобачевского, ННГУ)
Тел.: +7 (831) 462-30-03; e-mail: vadim.turlapov@itmm.unn.ru

Подпись профессора кафедры высокопроизводительных вычислений и
системного программирования

Института информационных технологий математики и механики
Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского
Турлапова В. Е. удостоверяю:

Зам. начальника управления кадров ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Т.А. Субботина

Дата 16.02.2026