

**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 гибридных методов анализа и повышения качества медицинских изображений, объединяющих классические математические подходы с современными методами машинного обучения, а также созданию программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов.

Актуальность выбранной темы обусловлена ростом объема и сложности медицинских изображений, используемых в клинической практике. Повышение точности диагностики напрямую связано с качеством изображений и эффективностью алгоритмов анализа медицинских данных. В этой связи развитие гибридных методов, сочетающих преимущества классических методов и нейросетевых технологий, представляется своевременным и научно обоснованным направлением исследований. Решение задач повышения качества медицинских изображений, их сегментации и классификации имеет существенное значение для построения систем компьютерной диагностики и автоматизации медицинских исследований. Таким образом, тема диссертации является актуальной как с теоретической, так и с практической точек зрения и соответствует современным тенденциям развития методов анализа данных.

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту

Положения, выносимые на защиту, в достаточной степени обоснованы в соответствующих разделах диссертационной работы.

В **первой главе** рассматривается задача подавления осцилляций Гиббса на изображениях магнитно-резонансной томографии головного мозга. Следует отметить, что изображения магнитно-резонансной томографии формируются не напрямую, а посредством регистрации сигналов в частотной области – так называемом *k-пространстве*, представляющем собой пространство частот. Восстановление изображения осуществляется с применением обратного

преобразования Фурье. Данное обстоятельство обуславливает математическую природу задач реконструкции и повышения качества МРТ-изображений. Предлагаемый гибридный метод DGAS9-CNN, объединяет классический поиск субпиксельных сдвигов со сверточной нейронной сетью. Проведенные вычислительные эксперименты демонстрируют повышение показателя PSNR и снижение полной вариации по сравнению с классическим алгоритмом Кельнера и базовой нейронной сетью GAS-CNN на наборе данных IXI. Полученные результаты обосновывают первое положение, выносимое на защиту, касающееся эффективности гибридного подхода для подавления осцилляций Гиббса.

Во **второй главе** предложен масштабно-инвариантный метод повышения качества изображений МРТ на основе нейронного оператора Фурье, обученного аппроксимации решения уравнения Перона–Малика. Эксперименты подтверждают устойчивость метода к изменению разрешения входных данных, что является важным свойством для практического применения. Здесь же предложена архитектура функциональной сети Колмогорова-Арнольда (FunKAN), реализующая проекционный подход к обработке двумерных признаков карт. Интеграция метода в U-образную архитектуру позволила получить высокие показатели сегментации на нескольких медицинских наборах данных при меньших вычислительных затратах. Данные результаты подтверждают положения о применимости нейронных операторов и проекционных сетей для повышения качества и сегментации медицинских изображений.

В **третьей главе** исследуется проблема устойчивости предобученных нейронных сетей к масштабу полнослайдовых гистологических изображений. Автор предлагает метод автоматического выбора масштаба на основе анализа расстояний до разделяющих гиперплоскостей предобученного нейронного классификатора. Экспериментальная проверка на реальных данных PATH-DT-MSU показывает, что предложенный алгоритм способен определять масштаб, близкий к тому, на котором велось предобучение, тем самым подтверждая соответствующее положение, выносимое на защиту.

В **четвертой главе** описан разработанный программный комплекс, ориентированный на проведение экспериментов. Представлена модульная архитектура системы, механизмы конфигурации, а также инструменты контроля

качества кода. Апробация комплекса на задачах анализа медицинских изображений подтверждает его практическую применимость и обосновывает положение о создании проблемно-ориентированного программного комплекса по обучению гибридных методов обработки и анализа медицинских изображений.

Структура работы достаточно логична, а представленные результаты подтверждают сформулированные положения, выносимые на защиту. Автореферат диссертации включает основные положения работы и достаточно полно и точно отражает ее содержание.

Достоверность полученных результатов обеспечивается опорой на известные методы обработки изображений и современные методы машинного обучения. Выводы подтверждаются серией вычислительных экспериментов на искусственных и реальных наборах данных, а также сравнением с существующими алгоритмами. Результаты работы прошли апробацию на международных научных конференциях и отражены в публикациях в рецензируемых изданиях, что дополнительно свидетельствует об их научной состоятельности.

Научной новизной обладают следующие основные результаты работы: гибридный метод подавления осцилляций Гиббса на изображениях МРТ, сочетающий численные процедуры и сверточные нейронные сети; нейронный оператор Фурье для масштабно-инвариантного повышения качества медицинских изображений; проекционный метод сегментации на основе функционального обобщения сетей Колмогорова-Арнольда; метод выбора масштаба анализа полнослайдовых изображений; программный комплекс, реализующий воспроизводимость вычислительных экспериментов.

Особенно интересной представляется предложенная М.А. Пенкиным реализация известной в области морфологического анализа изображений Ю.П. Пытьева идеи адаптивного подбора базисных функций проекционного оператора под обучающий набор данных с использованием функциональной сети типа Колмогорова-Арнольда (FunKAN). Данный класс архитектур (KAN) сам по себе является достаточно новым (предложен в 2024 году), а его обобщение, разработанное автором диссертации, придает ему дополнительный математический смысл, ведущий к новым применениям.

По содержанию работы имеются следующие **замечания**:

1. В главе 1 предложен подход, основанный на сочетании нейронной сети с алгоритмом предобработки Кельнера. При этом экспериментально показано, что алгоритм Кельнера по сути является методом фильтрации изображения, приводящим к его упрощению (уменьшению вариации). В связи с этим представляется целесообразным несколько обобщить предлагаемый подход, рассмотрев возможность использования в качестве этапа предобработки изображения и других алгоритмов, обладающих подобными свойствами (например, скользящего среднего, медианной фильтрации, морфологического открытия или закрытия и т.п.). Сравнительное исследование предложенного подхода с другими вариантами предобработки позволило бы более полно обосновать выбор используемого метода и оценить чувствительность гибридного алгоритма к данному этапу обработки.

2. В главе 2 при описании свойств нейронного оператора Фурье, характеризующих его поведение при изменении масштаба входных данных, представляется более корректным использовать термин «робастность» или «устойчивость» вместо термина «инвариантность», поскольку речь идет не о нечувствительности, а об устойчивости к изменениям масштаба в определенных пределах.

3. Работоспособность предложенного в главе 3 метода продемонстрирована для конкретной архитектуры нейросети (DenseNet121) и конкретного набора данных (PATH-DT-MSU). Желательно было бы исследовать его применимость и характеристики для более широкого круга нейронных сетей и наборов данных.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования. Диссертация является законченным научным исследованием, содержит новые научные результаты, обладает научной и практической значимостью и отвечает всем 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, автор диссертации 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 физико-математических наук, профессор РАН
директор по направлению – руководитель научного комплекса
«Искусственный интеллект и техническое зрение» ФАУ «ГосНИИАС»

ВИЗИЛЬТЕР Юрий Валентинович

13.02.2026

Подпись Визильтера Ю. В. заверяю.
Ученый секретарь
ФАУ «ГосНИИАС»,
д.т.н., профессор

Мужичек Сергей Михайлович

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 157-94-98, e-mail: viz@gosniias.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Адрес места работы:

125319, Российская Федерация, г. Москва, ул. Викторенко, 7,
Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский
институт авиационных систем» (ФАУ «ГосНИИАС»)
Тел.: +7 (499) 157-94-98; e-mail: viz@gosniias.ru