

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ им. М.В.Ломоносова

д.ф.-м.н, профессор

А.А. Федянин



«22» декабря 2025

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Сафонова Ильи Владимировича «Методы обработки изображений для систем сканирования и печати», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы»

Актуальность диссертационной работы

Несмотря на активное развитие безбумажных технологий и электронного документооборота, принтеры продолжают широко использоваться как в государственном и промышленном секторах, так и в быту. Современные многофункциональные устройства печати способны не только печатать, но и сканировать, копировать и выполнять ряд других функций, работая как через локальное или сетевое подключение к персональному компьютеру, так и автономно. В сочетании с прикладным и системным программным обеспечением, установленным на компьютерах, мобильных устройствах и в

локальных или глобальных сетях, такие устройства образуют информационные системы сканирования и печати.

Хотя базовые технологии печати сегодня хорошо развиты, остаются нерешёнными задачи, связанные с автоматическим повышением качества печатных и цифровых копий документов, особенно специальных типов, экономией расходных материалов и внедрением в напечатанные документы защитных элементов. Прогресс в теории цифровой обработки изображений, компьютерного зрения и распознавания образов привел к появлению множества методов улучшения изображений. Однако их применение в системах сканирования и печати часто ограничено из-за особенностей обработки данных и скромных вычислительных ресурсов. Актуальной задачей становится расширение функциональных возможностей систем сканирования и печати за счёт создания и внедрения новых и усовершенствованных автоматических режимов работы, удовлетворяющих задаваемым существующими стандартами требованиям к качеству и производительности.

Научная актуальность исследования обусловлена отсутствием развитого научно-методического аппарата разработки методов обработки изображений для систем сканирования и печати. На сегодняшний день каждый новый режим сканирования или печати проектируется как изолированная научно-исследовательская работа, без выявления общих черт и закономерностей между схожими задачами, без учёта уже реализованных в устройствах печати функций, архитектурных особенностей аппаратных платформ. Большинство современных методов оценки и улучшения качества изображений ориентировано на визуальное восприятие на экране, тогда как задачи оптимизации качества напечатанных изображений исследованы недостаточно.

Характеристика содержания диссертационной работы

Объём диссертации составляет 325 страниц. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследования, указаны задачи и положения, выносимые на защиту, охарактеризованы новизна, теоретическая и практическая значимость, перечислены используемые методы исследования.

В первой главе даётся формальное математическое описание исследуемой предметной области, кратко характеризуются информационные системы сканирования и печати, процессы обработки данных в таких системах, архитектурные особенности вычислительных платформ многофункциональных принтеров, а также подходы к оценке качества и производительности. Проводится анализ актуальных задач обработки изображений в контексте сканирования и печати и формулируется математическая постановка основной научной задачи диссертации.

Во второй главе представлен обзор существующих методологий выполнения научно-исследовательских работ (НИР) и разработки программного обеспечения. На основе этого анализа предложена оригинальная, ориентированная на оценку и управление рисками методология проведения НИР при создании решений для систем сканирования и печати. Рассматриваемые в диссертации методы обработки изображений созданы на основе данной методологии, таким образом вторая глава объединяет весь комплекс полученных практических результатов.

В третьей главе предложена методика реализации режимов сканирования, включающая устранение основных дефектов сканированных изображений и сегментацию, необходимую для сохранения результата в виде метафайла в соответствии с концепцией смешанного растрового содержимого. Описаны оригинальные методы оценки и коррекции наклона без использования дополнительной памяти, подавления печатного раstra, улучшения локального контраста, а также сегментации изображения на фон,

текст и графические фрагменты. Продемонстрированы практические применения предложенной методологии НИР и методики при разработке новых функций многофункциональных принтеров - таких как сохранение документа в PDF с векторизацией контуров текстовых символов и копирование двухсторонних карточек.

В четвёртой главе рассматриваются специальные режимы печати, направленные на экономию расходных материалов и внедрение в напечатанный документ защитных элементов. Сформулированы требования к таким режимам в контексте встроенного программного обеспечения устройств. Предложен подход к их реализации за счёт локальной модификации кода процессора растровых изображений, выделены модули процессора растровых изображений, пригодные для расширения новыми функциями. На основе подхода предложены новые режимы: печати микротекста, экономичной и черновой печати, а также внедрение скрытых цифровых водяных знаков.

Пятая глава посвящена анализу типичных дефектов цифровых фотографий, требующих автоматической коррекции при печати. Сформулированы требования к алгоритмам оценки качества изображений и устранения выявленных дефектов. Предложен подход к автоматическому улучшению качества печатаемых фотографий, учитывающий размер отпечатка, разрешение и особенности технологии печати. На основе подхода разработаны новые автоматические способы оценки и повышения резкости, фотографий, коррекции эффекта «красных глаз» и улучшения изображений, повреждённых контрольным светом.

В шестой главе рассмотрены задачи преобразования изображений при копировании документов на бумагу другого размера и при печати фотографий без полей. Предложена группа преобразований, позволяющих изменять размеры и соотношение сторон сканированных документов и снимков без искажения значимых фрагментов. Сформулированы принципы выявления визуально значимых областей, описаны методы автоматической

обрезки и переформатирования за счёт удаления или добавления малозаметных участков, а также способ дополнения изображений симметрично отражёнными фрагментами.

В седьмой главе представлены принципы автоматического отбора фотографий из коллекции и их размещения на странице фотоальбома, включая формирование коллажей. Сформулирован критерий оптимальности размещения, направленный на максимизацию использования площади страницы и минимизацию различий в размерах снимков, описан алгоритм размещения, определяющий коэффициенты масштабирования изображений. Предлагается способ автоматической генерации коллажей.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

В приложении приведены копии актов о внедрении результатов диссертационной работы.

Новизна исследования и полученных результатов

В работе получены следующие новые результаты:

1. Предложена оригинальная спиральная методология организации научно-исследовательской работы при разработке решений для систем сканирования и печати, направленная на снижение риска и включающая логическую последовательность этапов исследований и разработки. Впервые выявлены и ранжированы ключевые факторы, обуславливающие риск отсутствия внедрения результатов исследования в продукт.
2. Представлена методика организации режимов сканирования, основанная на авторской комбинации следующих подходов:
 - а) сначала проводится предварительная оценка параметров обработки по изображению низкого разрешения, после чего изображение требуемого разрешения обрабатывается без привлечения дополнительной памяти;

б) выполняется коррекция наклона оригинала, подавление печатного растра и улучшение визуального качества изображения;

в) осуществляется сегментация изображения на текстовые, графические и фоновые области;

г) результат сканирования сохраняется в метафайловом формате.

На основе методики разработаны новые режимы работы многофункциональных устройств:

- преобразование отсканированных изображений в метафайловый формат с векторизацией текстовых символов;
- копирование двухсторонних карточек с автоматическим определением ориентации оригинала;
- сканирование нескольких маленьких оригиналов за один проход;
- сканирование книг.

3. Предложен новый подход и оригинальные технические решения для реализации в растровом процессоре специализированных режимов печати, включая:

- защиту напечатанных документов от копирования путём динамической генерации микросимволов и микроизображений;
- экономичную и черновую печать;
- печать скрытых цифровых водяных знаков.

4. Разработан подход к автоматической оценке и повышению визуального качества печатаемых фотографий, отличающийся от существующих тем, что учитывает пространственное разрешение печати, размер фотокарточки и особенности используемой технологии печати. На основе этого подхода созданы новые автоматизированные методы обработки изображений, включающие:

- коррекцию затемнённых участков;
- обнаружение и устранение эффекта «красных глаз»;

- оценку степени размытия фотографии и последующее повышение резкости;
 - подготовку анаглифных изображений к печати.
5. Предложена группа оригинальных методов трансформации изображений, позволяющих изменять размеры и соотношение сторон документов и фотографий без искажения ключевых смысловых элементов. Эти методы включают автоматическую обрезку и переформатирование за счёт удаления или добавления малозаметных участков, а также расширение изображения за счёт симметрично отражённых фрагментов. Впервые разработан критерий заметности таких изменений и определена последовательность применения указанных преобразований.
6. Разработаны новые методы автоматического отбора изображений из коллекции и их компоновки на странице. В отличие от традиционных алгоритмов размещения и упаковки, эти методы включают определение индивидуальных коэффициентов масштабирования для каждого изображения. Предложен оригинальный критерий оптимальности компоновки, который стремится максимизировать общую площадь, занимаемую фотографиями на странице, и одновременно минимизировать различия в их размерах.

Значимость полученных результатов для развития отрасли науки

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научно-методического аппарата разработки методов обработки изображений и новых режимов работы для информационных систем сканирования и печати. Обобщение специфики решаемых задач, подходов и способов обработки изображений в системах сканирования и печати нашло свое отражение в двух монографиях, опубликованных в издательстве Springer Nature и посвящённых автоматической обработке фотографий при печати и обработке изображений документов при сканировании, копировании и печати.

Практическая значимость разработанных методов обработки изображений заключается в том, что на их основе разработано программное обеспечение печатающих устройств, используемых во всем мире. К тексту диссертации приложено два акта о внедрении результатов диссертационного исследования, полученные в исследовательском центре компании Самсунг и научно-исследовательском центре компании Шлюмберже. В РФ и США для разработанных методов получены многочисленные патенты на изобретение, что подтверждает их новизну, практическую значимость и промышленную применимость.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

В первую очередь, результаты диссертации предназначены для разработки новых и модернизации существующих многофункциональных устройств и систем сканирования и печати. Сформулированные положения и изложенные методы применимы для решения прикладных задач обработки изображений в различных областях промышленности. Большинство разработанных методов реализуемо не только для офисных многофункциональных принтеров, но и для устройств типографской печати. Способы обработки фотографий и изображений документов могут быть адаптированы для фотокамер и камер смартфонов, применяться в интерфейсе пользователя при показе изображений на экране, использоваться для эффективного хранения изображений документов в системах документооборота. Ряд способов оценки и улучшения качества изображений могут найти свое применение при работе с видео и трёхмерными объёмными изображениями.

Замечания по диссертации

По тексту диссертации имеются следующие замечания:

1. В формуле (4.4) неверно указаны показатели экспонент для двумерного ядра свёртки «разница гауссиан».
2. Таблица 5.11 называется «Абсолютное значение коэффициента корреляции Пирсона», но в одной из колонок приведено отрицательное значение.
3. В 5 главе следовало более подробно описать, как каждый из разработанных методов оценки и улучшения качества фотографий учитывает технологию печати.

Указанные замечания не снижают положительную оценку работы.

Заключение

Основные результаты диссертации опубликованы в 84 публикациях, из них: 8 изданы в журналах, индексируемых Scopus, или из перечня ВАК; 42 патента на изобретения, выданные в РФ и США; 2 монографии, индексируемые Scopus; 2 главы в книгах, индексируемые Scopus; 21 материал международных конференций, индексируемых Scopus или Web of Science. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы» по пунктам 1, 3, 4 и 17. Автореферат диссертации адекватно отражает её содержание.

Таким образом, диссертация Сафонова Ильи Владимировича «Методы обработки изображений для систем сканирования и печати» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, полностью соответствует требованиям к докторским диссертациям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842с изменениями от 25 января 2024 года (постановление № 62), а её автор, Сафонов Илья Владимирович, заслуживает присуждения степени доктора

технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы».

Диссертационная работа обсуждена на семинаре «Математические методы анализа данных» кафедр математики и математического моделирования и информатики физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (присутствовало 12 человек, протокол № 9 от 15 декабря 2025 года).

Председатель семинара:

Заведующий кафедрой
математического моделирования
и информатики

д.ф.-м.н., профессор

Чуличков Алексей Иванович

Секретарь семинара:

Доцент, к.ф.-м.н.

Шапкина Наталья Евгеньевна

Зам. декана физического факультета МГУ

д.ф.-м.н., профессор

Форш Павел Анатольевич

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический факультет

Тел: +7(495)9391682

email:info@physics.msu.ru

Официальный сайт: <http://phys.msu.ru>

