

На правах рукописи



Трапезникова Ольга Валерьевна

**МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МАТЕРИАЛОВ И ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Специальность 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Омск 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Варепо Лариса Григорьевна**
почетный работник сферы образования РФ, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), г. Омск.

Официальные оппоненты: **Данилевич Сергей Борисович**
д.т.н., доцент, действительный член Академии проблем качества, профессор Новосибирского филиала Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации», профессор кафедры «Стандартизация, сертификация и менеджмент качества», г. Новосибирск.

Яковлев Борис Сергеевич
к.т.н., доцент кафедры «Промышленная автоматика и робототехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Защита диссертации состоится 26 декабря 2023 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.350.01, созданного на базе Омского государственного технического университета по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, Главный корпус, П-202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАУ ВО «Омский государственный технический университет» и на официальном сайте www.omgtu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ОмГТУ, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.350.01. Тел.: (3812) 65-24-79; e-mail: dissov_omgtu@omgtu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.350.01
кандидат технических наук, доцент



С.А. Завьялов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К изделиям, изготавливаемым с применением полиграфических способов (далее печатные изделия), относится традиционная книжно-журнальная, защищенная, картографическая, акцидентная продукция, а также инновационные изделия печатной электроники, сенсорики, различные промышленные изделия (обои, текстиль и т.д.). Проблема повышения точности контроля в процессе производства различных печатных изделий не теряет своей актуальности в связи с развитием, как технологий изготовления самих печатных изделий, так и интеграцией полиграфических способов изготовления в новые сегменты производства; увеличением числа переменных величин, влияющих на качество печатных изделий, вкуче с уменьшением геометрических размеров печатных элементов до значений порядка 10-30 мкм (рекомендуемые для классической издательской продукции порядка 100 мкм и выше), воспроизводимых на высоких скоростях (15000-17000 оборотов/ч). В виду того, что полиграфическая промышленность характеризуется высокой точностью и сложностью технологических процессов, то и к измерительной технике предъявляются высокие требования, так как от ее уровня во многом зависит ее эффективность. Качество характеристик печатных изделий напрямую определяет их назначение. На качество оказывает существенное влияние материал печатного изделия. Контроль пробивания краски, растискивания, зависящих от характеристик красковосприятия и краскопереноса, а также несовмещения красок и цветовоспроизведения, обусловлен необходимостью предотвращения различного вида дефектов, бракующих изделие. Контроль цветовоспроизведения на печатных изделиях определяется как субъективными методами визуального восприятия изображения, так и объективными с применением контрольно-измерительных приборов и контрольно-измерительных систем. Несмотря на эффективность применения спектрофотометрических и колориметрических принципов измерений для контроля характеристик цветопередачи, заложенных в зарубежных высокотехнологичных измерительных приборах, к их недостаткам относится отсутствие возможности изменения площади анализируемой поверхности в процессе измерения характеристики цвета. Разработка новых и развитие действующих методов возможны за счет программно-аппаратных средств, которые позволят интегрировать процессы измерения и анализа информации для стабилизации процессов печатания и контроля.

В сложившихся экономических условиях необходимо учитывать, что ограничения в связи с введением санкций, обуславливают необходимость разработки новых отечественных методов контроля, измерительных устройств и программного обеспечения к ним для контроля показателей качества печатных изделий, так как в этом секторе экономики доля импортных технологий и контрольно-измерительных устройств была доминирующей.

Степень разработанности темы исследования. Фундаментальный вклад в исследование и решение вышеуказанной проблемы внесли как отечественные, так и зарубежные ученые, в числе которых: К.В. Щипков, Ю.В. Кузнецов, Д.М. Александров, Ю.С. Андреев, Е.Б. Баблюк, В.Н. Леонтьев, В.В. Лихачев, П.В. Луканин, А.К. Хмельницкий, В.Ф. Морфлюк, С.Р. Chuang, F. Torres, W. Jang, L. Bergman, R.J. Trepanier, L.M. Guan, A. Verikas, J. Lundström и др. Необходимо отметить, что в фондах диссертационного отдела Российской Государственной библиотеки им. Ленина количество диссертационных работ, отвечающих паспорту специальности, малочисленно. Это еще раз подтверждает тот факт, что в России данная тема не получила в предыдущие годы должного развития ввиду значительной доли ориентации отечественных предприятий по производству печатных изделий не только на технологии и оборудование зарубежного производства, но и на приборы и системы контроля.

Системы контроля характеристик процесса печатания, предложенные зарубежными производителями печатного оборудования: Prinect Inspection Control 2 – система для обнаружения дефектов печати, Prinect Inpress Control 2 – интегрированная колориметрическая система для контроля цвета и приводки, Prinect Easy Control – система для измере-

ния тест-шкал, Prinect Image Control 3 – колориметрическая система для контроля и управления цветом (фирма Heidelberg), KBA QualiTronic Professional – система контроля качества во время печати тиража (фирма Koenig & Bauer AG), EasyTrax – система для измерений денситометрических и спектральных параметров печатного изображения (фирма X-Rite), а также системы контроля других лидеров рынка базируются в своих подходах к созданию автоматизированных комплексов для контроля тест-шкал, «ключевых» точек изображения и для сплошного контроля всего изображения. Общность этих систем состоит в том, что они выявляют факт несоответствия в печатной системе, однако только для конкретной печатной машины, аппаратно зависимы и требуют больших капиталовложений.

Установление соответствия контролируемых показателей установленным нормативам и допускам зависит от номенклатуры печатных изделий, их классификация по различным группам сложности. Для контроля совмещения красок имеются лишь общие рекомендации на допустимое отклонение совмещения изображения, предусмотренные международным стандартом ISO 12647-2:2004 и национальным стандартом ГОСТ Р 54766-2011 (ИСО 12647-2:2004) с использованием субъективного метода в виде совмещения контрольных крестов, а также стандартами отдельных предприятий. Результат контроля при этом напрямую зависит от точности определения косины листа, что имеет ключевое значение при его подаче в зону печатания и при оценке качества готового печатного изделия. Известные методы, основанные на определении разности диагоналей листа или складывании листа пополам с помощью линейки, не позволяют получить результат с требуемой точностью. Метод определения красковосприятости (ГОСТ 24356-80), сегодня не эффективен, несмотря на статус – действующий, так как стандартные образцы контроля не учитывают современный ассортимент материалов для печатных изделий, что снижает точность результата контроля.

Среди теоретических методов важным инструментом исследования является использование аппарата современной теории моделирования. В работе учитывались результаты предшествующих исследований методов контроля печатной продукции на основе моделирования, представленные в работах Л.Г. Варепо, А.В. Голунова, С.И. Дыдышко.

Цель работы – разработка и совершенствования методов и инструментов контроля для улучшения качества печатных изделий путем повышения точности контролируемых характеристик.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

- провести анализ научно-технических работ по направлению исследований в области методов контроля характеристик печатных изделий; осуществить поиск новых научных разработок в области колориметрии с применением для контроля характеристик цветовоспроизведения;
- разработать методы, применяемые для определения контролируемых характеристик материалов и печатных изделий, способствующие повышению их точности с учётом влияния доминирующих факторов печатной системы;
- разработать программно-техническое обеспечение, реализующее оценку влияния случайных факторов на контролируемые характеристики;
- оценить адекватность разрабатываемых методов в производственных условиях.

Научная новизна работы. Разработаны методы, цветоизмерительное устройство и программное обеспечение для контроля характеристик печатных изделий, имеющих различное функциональное назначение. Наиболее существенными являются следующие результаты.

1. Впервые предложен метод для определения красковосприятости материала печатного изделия, в котором основной критерий в виде суммарной массы краски, рассчитывается с помощью разработанного программного обеспечения, при условии, что поверхностная плотность массы краски прямо пропорциональна толщине красочного слоя в контролируемой точке в зависимости от характеристик профиля поверхности материалов.

2. Расчетным и экспериментальным путем обоснованы дополнения в методе определения характеристик краскопереноса (включая «пыление» краски), учитывающие, в отличие от известных методов, отклонение от геометрических допусков цилиндров печатной машины, что способствует повышению достоверности оценки результатов контроля и экологической безопасности.

3. Впервые разработан метод контроля графической точности цветовоспроизведения с учетом косины материала печатного изделия на основе моделирования совмещения красок, базирующийся на идентификации положения контролируемого объекта относительно допусков.

4. Впервые разработан и реализован метод повышения колориметрической точности цветовоспроизведения на печатных изделиях с применением нового принципа (подхода) расчета координат цвета на основе колориметрических измерений.

Теоретическая и практическая значимость результатов. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планом научных программ ОмГТУ: Методология контроля и алгоритмическое обеспечение для автоматизированного управления качеством многокрасочного изображения (внутренняя НИР пр. 288/1 от 07.04.2017г.); Формирование изображений на различных типах поверхностей изделий и листовых материалах № 1013/1 от 27.12.2018г.; Разработка системы управления параметрами цветовоспроизведения технических систем № 22111В (2022г.).

Разработаны и внедрены программы для ЭВМ, реализованные в методах контроля характеристик: краскопереноса и красковосприятия, что доказывает принципиальную возможность их применения, включая этап настройки печатной машины, позволяет прогнозировать риски на этапах нанесения красочного изображения на изделия и сократить время простоя, а также расход основных полиграфических материалов; колориметрической точности печати с применением различных систем формирования красочной пленки, что позволило повысить объективность контроля цвета в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р 54766 (ISO 12647-2). Реализация разработанных алгоритмов и программного обеспечения при расчетах контролируемых характеристик: краскопереноса и красковосприятия на производственном предприятии ООО «Полиграф», позволила ускорить их расчет по сравнению с другими известными методами.

Метрологическое обеспечение точности геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата позволяет достоверно выявлять риски выпуска бракованных печатных изделий еще на стадии настройки печатной машины.

Запатентованный метод определения косины материала печатного изделия в совокупности с разработанным методом определения совмещения красок, базирующийся на идентификации положения контролируемого объекта относительно его допуска, в процессе контроля цветопередачи многослойного изображения, наносимого на печатное изделие, снижает риски выпуска бракованных печатных изделий.

В рамках реализации программы импортозамещение, предложена новая методика контроля характеристик цветовоспроизведения печатных изделий, выполненных контактным способом с печатных форм с применением разработанного цветоизмерительного устройства с функцией изменения площади анализируемой поверхности, защищенного патентом № 207191.

Разработанные программные продукты зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) и в реестре Объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» (ОФЭРНиО), апробированы и реализованы также в учебном процессе при подготовке специалистов I и II ступени в Омском государственном техническом университете и полиграфическом предприятии.

Объект исследования – Материалы и печатные изделия.

Предмет исследования – Методы и инструменты контроля характеристик печатных изделий.

Методы и средства исследования. Использовались методы математического моделирования, математической статистики, методы колориметрии и спектрофотометрии. Для определения контролируемых характеристик на этапах изготовления печатного изделия использовалось метрологически калиброванное оборудование (приборы). Результаты натуральных экспериментов выполнялись с использованием инструментального измерения спектральных характеристик цвета (колориметрии) и метрологии с инструментальным определением исследуемых характеристик.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Метод определения количества краски для контроля красковосприятости материала печатного изделия с применением разработанного программного обеспечения, учитывающий зависимость от шероховатости материала, в отличие от стандартизированного позволяет сократить время контроля красковосприятости.

2. Метод расчета «пыления» краски на основе численного моделирования для контроля характеристик краскопереноса с учетом наличия отклонений от геометрических допусков цилиндров печатного аппарата, осевой вибрации, шероховатости материала, в отличие от известных методов позволяет прогнозировать «пыление» краски, способствует повышению экологической безопасности.

3. Метод контроля графической точности совмещения красок в процессе контроля цветопередачи печатного изделия, базирующийся на идентификации положения контролируемого объекта относительно его допуска и косины материала.

4. Метод контроля колориметрических характеристик печатных изделий, выполненных контактным способом с печатных форм, с применением усовершенствованной конструкции цветоизмерительного устройства позволяет обеспечить изменение площади анализируемой окрашенной поверхности без снятия/установки отдельных элементов устройства.

Соответствие паспорту специальности. Результаты работы соответствуют пунктам 1 и 4 паспорта специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Достоверность полученных результатов подтверждается адекватностью разработанных методов контроля и программного обеспечения, проведенных экспериментальных исследований, практической реализацией на профильном предприятии и в учебном процессе, достаточной публикацией результатов в рецензируемых научных журналах, их апробацией на различных конференциях.

Решенная задача. Разработаны методы, программное обеспечение и устройство для контроля характеристик печатных изделий, позволяющие автоматизировать процесс контроля, сократить его время, повысить качество печатных изделий с учетом их индивидуальности, экологическую безопасность, а также решать проблему импортозамещения.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследований докладывались на следующих конференциях: 4-я Международная научно-практическая конференция «Измерения в современном мире» (Санкт-Петербург, 2013г.); Международная научно-техническая конференция «Oil and gas engineering» (Омск, 2015-2022г.); International Scientific-Practical Conference «Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies» (Каунас, 2016г.); Международная научно-техническая конференция «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 2016-2020гг.); Международная научно-техническая конференция «Метрология, стандартизация, качество: теория и практика» (Омск, 2018г.); Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (Санкт-Петербург, 2017г.); Международная научно-техническая конференция «Проблемы машиноведения» (Омск, 2018-2021г.); XXIX International Scientific Symposium «Metrology and Metrology Assurance» (ММА) (Sozopol, Bulgaria, 2019г.).

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 22 научных трудах, в том числе в 7 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК, в 9 статьях в зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, вклю-

ченных в одну из баз цитирования (Web of Science, Scopus). Получено 4 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 патент на полезную модель и 1 патент на изобретение.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса: в разработке и формулировании цели, задач, основных положений диссертации, составляющих ее новизну, практическую ценность; выполнении всего объема исследований по разработке новых методов и устройства контроля (в соавторстве); обработке и интерпретации экспериментальных данных, отладке разработанных лично и в соавторстве компьютерных программ, а также в их внедрении в производство печатных изделий. Все результаты, представленные в диссертации, получены, обработаны и проанализированы лично автором.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (170 наименований) и приложений. Общий объем работы без приложений составляет 153 страницы.

В приложении приводятся акты внедрения разработок на предприятиях полиграфической отрасли и в учебном процессе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, отражена научная новизна, представлена практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации.

В первой главе представлены основные теоретические сведения по теме диссертационного исследования, основные критерии, средства и методы контроля характеристик качества печатных изделий. Приводится анализ современных систем для контроля характеристик качества печатных изделий и подходов к контролю единичных показателей качества многокрасочных печатных изделий.

Во второй главе представлена разработка метода определения контролируемой характеристики красковосприятия материала печатного изделия.

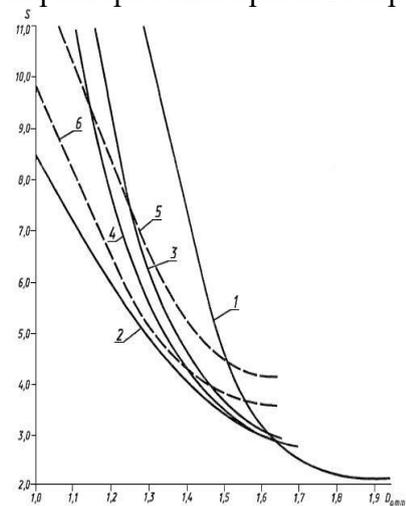


Рисунок 1 – Вид номограммы для определения красковосприятия бумаги

Под термином красковосприятие в полиграфии понимается свойство поверхности материала (например, бумага) печатного изделия воспринимать определенное количество краски во время печати при заданных условиях контакта и разрыва красочного слоя. Действующий метод определения красковосприятия основан на измерении оптической плотности красочного оттиска (ГОСТ 24356-80). По ГОСТ 24356-80 «Бумага. Определение печатных свойств» количественной характеристикой красковосприятия служит критическая толщина слоя краски на форме S , соответствующая оптимальному значению величины оптической плотности оттиска D_{omm} . В процессе контроля рассчитывают среднее значение оптической плотности оттиска D'_{omm} из трех параллельных определений, используя номограмму (рис. 1).

К недостаткам метода следует отнести следующие: ограничение числа стандартных образцов; зависимость измерения оптической плотности от времени нанесения красочного слоя до полного его высыхания на печатном изделии, что индивидуально для каждого вида материала и требует больших временных затрат (порой более суток) и результата от точности его считывания с номограммы. Недостатком методов определения красковосприятия на основе моделирования, представленных в научных трудах А.С. Борисовой и Л.Г. Варепю, является их индивидуальность по отношению к виду материала. Разработанный метод позволяет контролировать красковосприятие на материалах с различной фактурой по-

верхности и не зависит от времени полного высыхания красочного слоя. Для аналитического представления профиля материала поверхности (красочного покрытия) и оценки его характеристик разработано программное обеспечение с использованием языка программирования Visual C# [20].

Последовательность определения красковосприятости следующая:

- считывание характеристик профиля поверхности красочного слоя материала; загрузка исходных данных из файла;
- расчёт характеристики красковосприятости материала печатного изделия ($M = M_1 + M_2$) с помощью разработанного программного продукта.

Для получения оценки M_1 используется универсальный подход, состоящий в аппроксимации количества (M_1) краски на поверхности образца некоторой линейной функцией двух переменных.

Оценка (M_1) осуществляется по формуле:

$$M_1 = \int_c^d dx \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} \left(\sum_{i=1}^N \rho_j \right) (a_0x + b_0y + c_0) dy,$$

где $\rho(x, y)$ – поверхностная плотность массы красок, которая прямо пропорционально зависит от толщины $z(x, y)$ красочного слоя в контролируемой точке (x, y) , N – количество красок, участвующих в данном отпечатке.

Распределение краски в объемных слоях структуры материала (M_2) осуществляется по формуле:

$$M_2 = \left(\sum_{i=1}^N \rho_j \right) qS$$

где q – значение средней глубины проникновения краски во внутренние слои материала; S – площадь запечатанной поверхности, которую также находят с помощью методов математического и гармонического анализа (рис. 2). Полученные данные адекватны данным измерений, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа (JSM 7500F JEOL) (рис. 3, табл. 1).

Отличительная особенность разработанного метода определения красковосприятости материала печатного изделия заключается в том, что расчеты контролируемых характеристик осуществляются в автоматизированном режиме с помощью запатентованного программного обеспечения с выводом контролируемого показателя на экран монитора и сохранением результата [22].

Таблица 1 – Результаты оценки красковосприятости

| Номер образца | Шероховатость, R_a , мкм | Экспериментальное значение, \bar{m} , г (ГОСТ 24356-80) | Доверительный интервал | Расчетное значение $m_{расч}$, Г |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,231 | 0,0254 | $0,0231 < m < 0,0277$ | 0,0262 |
| 2 | 0,427 | 0,0356 | $0,0325 < m < 0,0387$ | 0,0361 |
| 3 | 2,501 | 0,0791 | $0,0741 < m < 0,0841$ | 0,0805 |
| 4 | 2,310 | 0,0639 | $0,0583 < m < 0,0695$ | 0,0662 |
| 5 | 2,280 | 0,0618 | $0,0566 < m < 0,0670$ | 0,0646 |

Известный метод определения характеристик краскопереноса при контроле процесса печатания, предложенный Л.Г. Варепю, А.В. Паничкиным, не учитывает влияние факторов, вызванных отклонением от геометрических допусков печатных цилиндров при печатании.

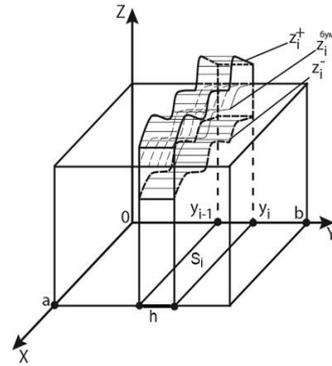


Рисунок 2 – Распределение краски в структуре материала печатного изделия

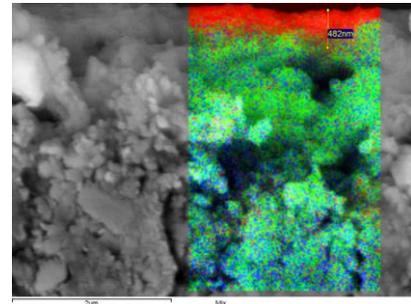


Рисунок 3 – Определение краски в структуре материала изделия методом сканирующей электронной микроскопии

Дальнейшее его развитие реализовано в предложенном методе контроля характеристик краскопереноса с учетом отклонений геометрических допусков, являющихся причиной вибрации и осевого смещения цилиндров в печатном аппарате, с помощью численного моделирования, реализованного в запатентованной программе [21] для автоматизированного расчета контролируемых характеристик (рис. 4).

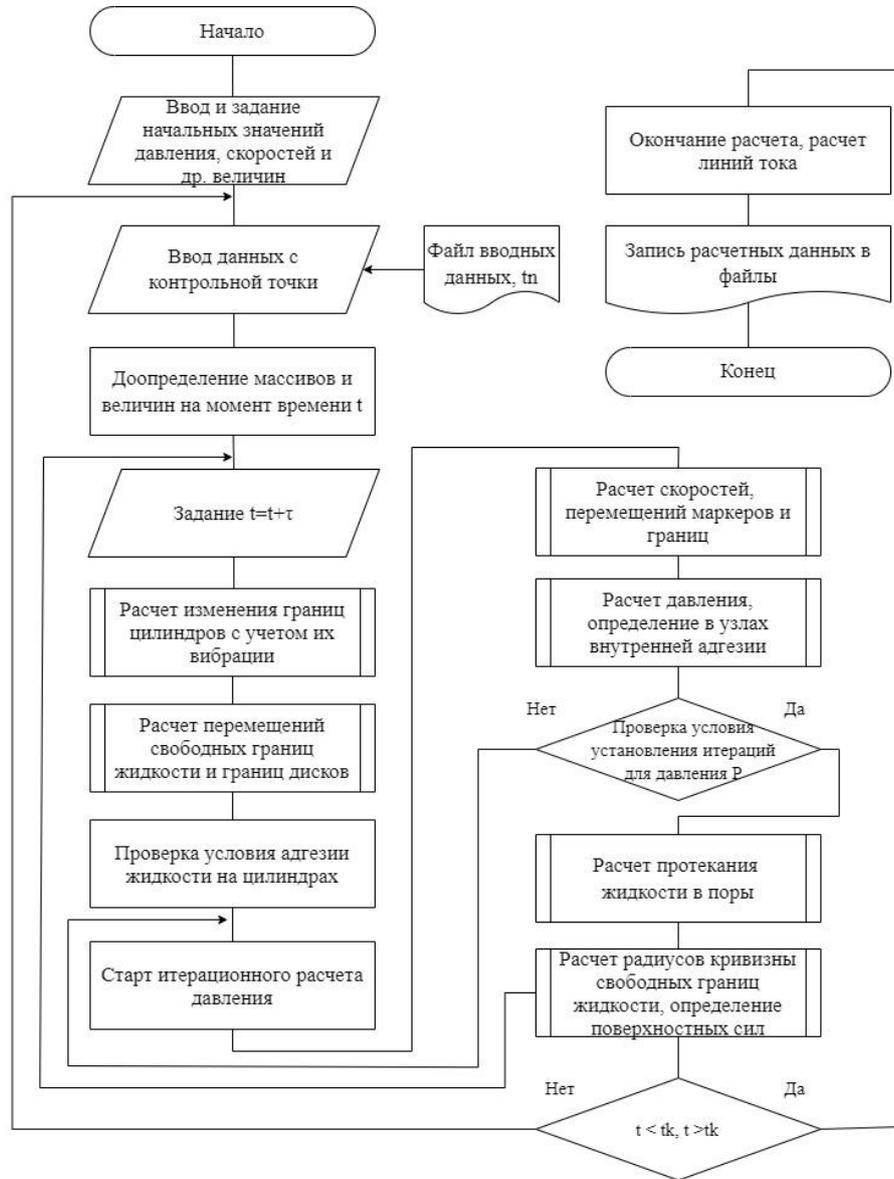


Рисунок 4 – Алгоритм расчета характеристик краскопереноса

Результаты расчета и натурального экспериментов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета и натурального экспериментов

| Материал печатного изделия | Шероховатость, R_a , мкм | Эффективная пористость образцов | ω , рад/с | Печатная краска, впитавшаяся в поры материала, % | Печатная краска на поверхности материала, % | Количество печатной краски в материале, % |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Расчетные значения | | | | | | |
| Образец 1 | 0,392±0,001 | 0,2184 ± 0,0213 | 10 | 3,562±0,001 | 51,903±0,001 | 55,465±0,001 |
| Образец 2 | 0,495±0,001 | 0,3264 ± 0,0032 | 10 | 6,714±0,001 | 46,902±0,001 | 53,616±0,001 |
| Результаты измерения | | | | | | |
| Образец 1 | 0,392±0,001 | 0,2184 ± 0,0213 | 10 | 3,900±0,020 | 53,000±0,020 | 56,900±0,030 |
| Образец 2 | 0,495±0,001 | 0,3264 ± 0,0032 | 10 | 7,060±0,010 | 48,300±0,010 | 55,360±0,020 |

Результаты натурального эксперимента оценивались с помощью метода растровой электронной микроскопии. Практическая реализация разработанного метода в режиме визуализации позволяет на экране отследить во время контроля деформации, рост которых вызван увеличением вибрации цилиндра печатного аппарата и которые имеют место в слое печатной краски в различные, практически мгновенные, временные периоды (доли секунды) под воздействием рассматриваемых переменных факторов.

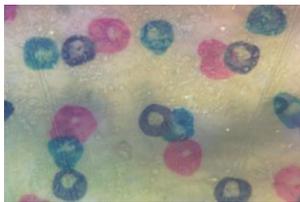
Разработанный метод позволяет получить количественную оценку «пыления»¹ краски (табл. 3), что важно для обеспечения экологической безопасности и снижения брака печатных изделий

Таблица 3 – Результаты количественной оценки «пыления»

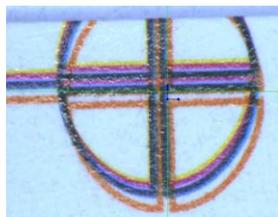
| Номер печатной системы | Угловая скорость вращения цилиндров, рад/с | Шероховатость, R_a , мкм | Количество краски, перешедшей в пыление, % | Общее кол-во краски на оттиске на выходе из зоны контакта, % |
|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1 | 10 | 0,427 | 2,07 | 55,31 |
| 1 | 20 | 0,427 | 3,86 | 53,52 |
| 2 | 10 | 2,31 | 2,24 | 62,73 |
| 2 | 20 | 2,31 | 4,61 | 60,36 |
| 3 | 10 | 3,32 | 3,66 | 64,21 |
| 3 | 20 | 3,32 | 5,18 | 62,69 |

Увеличение угловой скорости вращения цилиндров, а также шероховатости поверхности контактирующей с пленкой вязкой несжимаемой жидкости, способствует росту пыления на выходе из зоны контакта.

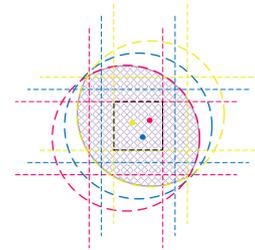
Третья глава. В процессе многослойной печати при изготовлении печатного изделия ввиду воздействия различных случайных факторов, которые приводят к нарушению приводки печатных секций, контроль совмещения красок является первостепенным. Направления этих смещений различны и находятся в широких пределах, что порой не отвечает установленным стандартами требованиям (например, не более 0,15 мм для офсетной печати). Контроль совмещения красок на оттиске осуществляют по приводочным крестам² (рис. 5, а, б), тест-объектам или по полученному изображению.



а) Многослойная печать



б) Контрольная метка (несовмещение красок)



в) Совмещения полей допусков для трех красок

Рисунок 5 – Совмещение красок при печати

Для решения этой проблемы разработан метод контроля совмещения красок с учетом косины материала печатного изделия и идентификации положения контролируемого объекта относительно их допусков. Это обусловлено тем, что одной из причин несовмещения красок является отклонение положения материала в зоне печатного контакта вследствие нарушения допусков на его косину относительно геометрической формы. Следует заметить, что действующие сегодня стандартные методы контроля косины материала печатных изделий не обеспечивают требуемую точность. Разработанному методу опреде-

¹ Пыление – это результат дробления красочных нитей на множество мелких частиц и интенсивного разбрызгивания этих частиц в окружающее пространство под действием центробежных сил. Отрицательные стороны этого явления – повышенные риски экологической безопасности (загрязнение рабочих помещений и машин, воздействие на здоровье рабочих).

² Приводочные кресты – метки в виде пересекающихся под прямым углом тонких коротких линий, нанесенные на поля оригинала, фотоформ или их монтажей. Служат для контроля совмещения красок на оттиске при печати и для оценки точности приводки цветных изображений на оттиске после печати.

ления косины [17] свойственна отличительная особенность – определение отклонений от прямоугольности осуществляется с помощью оптических измерительных средств с учетом величины угла с наибольшим отклонением, что обеспечивает его более высокую точность.

Системы автоматического определения характеристик совмещения красок, известные сегодня, показывают результат контроля после прохождения листами бумаги последней секции. В основе известных запатентованных решений автоматического контроля заложен принцип сопоставления, поэлементно или по группам элементов, характерных частей контролируемого изображения с эталонным изображением. В силу возможного смещения крестов для различных красок относительного контрольного (и, следовательно, смещения допуска) для обеспечения качественной печати необходимо, чтобы контролируемый тест-объект каждой краски при трехцветной печати находился в поле допуска контрольного креста (рис. 5, в). Разработан метод оценки графической точности совмещения красок в процессе контроля цветопередачи многослойного изображения наносимого на материал печатного изделия на основе моделирования.

Последовательность реализации метода, базирующегося на идентификации положения контролируемого объекта относительно его допуска следующая:

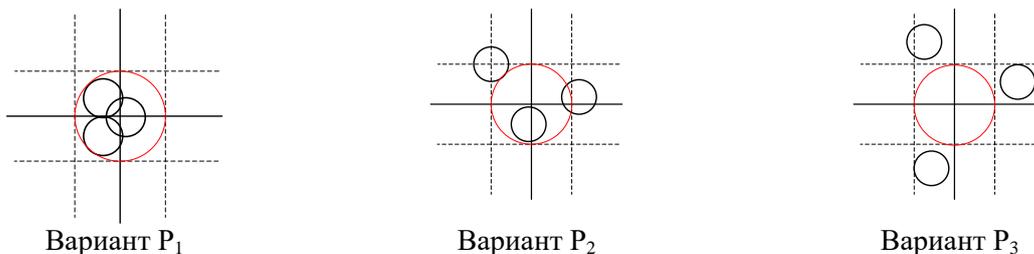
- установить допустимые границы смещения красок;
- для преобразования контролируемого изображения в цифровую форму провести операцию сканирования этого изображения;
- проверить выполнение неравенств вида (1) для каждого из трех тест-объектов и каждого поля допуска:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq R^2, \quad (1)$$

где (x_0, y_0) – координаты центра данного круга допусков; (x, y) – произвольная точка круга допусков, включая границу; R – радиус поля допусков;

- провести оценку смещения контрольных трех тест-объектов красок с помощью оптических измерительных приборов (в работе для проведения измерений использовался бесконтактный метод измерения при помощи видеоизмерительной машины микроскопа ВММ 150);

- для определения возможности идентификационного сравнения качества печатного изображения на оттисках с использованием цифровой модели изображения оттиска, полученного путем сканирования, классифицировать экспериментальные расположения тест-объектов относительно поля допуска по следующим вариантам по отношению к допустимым границам (рис. б):



Вариант P_1

Вариант P_2

Вариант P_3

Рисунок б – Варианты расположения моноотпечатков относительно поля допуска

P_1 – все тест-объекты попадают в поле допуска (в пересечение всех требуемых полей допусков);

P_2 – некоторые тест-объекты пересекают границу поля допуска или касаются ее внешним образом;

P_3 – все тест-объекты находятся вне поля допусков и его границы.

- построить полигон относительных частот (в процентах) количества микроточек, в которых происходит совмещение тест-объектов в различных вариантах: от отсутствия совмещений до совмещения всех трех красок. Соотношение $P_1 : P_2 : P_3 = 75 : 20 : 5$ (%) обеспечивает требуемое качество.

Разработанный метод контроля совмещения красок обеспечивает точность совмещения красок в пределах 0,1 мм (при стандартном допуске 0,1–0,15 мм для офсетной печати).

В отличие от стандартного полиграфического процесса технологически печатная электроника оперирует не растровыми, а векторными изображениями, включая линейные (штриховые) элементы и геометрические «плашечные» фигуры различной конфигурации и площади (рис. 7).

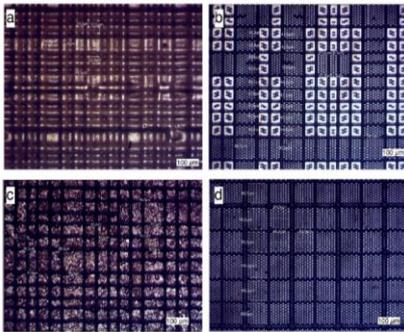


Рисунок 7 – Линейные элементы и геометрические «плашечные» фигуры различной конфигурации и площади

Наряду с достижением графической (колориметрической) точности цветопередачи, не менее важным является обеспечение точности ее цветовых характеристик. Для оценки количественной характеристики цвета используется величина отклонения цвета от оригинала (показатель цветового различия). Для визуализации полученных цветовых координат воспроизводимого изображения и цветового различия разработано программное обеспечение [19]. Результаты апробации приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты контроля цветового различия ΔE

| Номер системы цвето-воспроизведения | Координаты цвета Lab | | | Оптическая плотность красочной пленки, $D_{\text{опт}}$ | Измеренные значения координат цвета | | | Рассчитанные значения координат цвета | | | Цветовое различие, ΔE |
|-------------------------------------|----------------------|---|----|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|----|----|-------------------------------|
| | L | a | b | | R | G | B | L | a | b | |
| 1 | 99 | 2 | -8 | 0,01±0,01 | 251±1 | 248±1 | 255±1 | 98 | 2 | -4 | 4,12 |
| 2 | 97 | 2 | -7 | 0,01±0,01 | 245±1 | 238±1 | 250±1 | 95 | 4 | -5 | 3,46 |
| 3 | 25 | 1 | -1 | 1,35±0,01 | 55±1 | 58±1 | 54±1 | 24 | -2 | 2 | 4,35 |
| 4 | 39 | 0 | 2 | 0,98±0,01 | 90±1 | 93±1 | 87±1 | 39 | -2 | 3 | 2,23 |

Преимущество этого подхода состоит в том, что в процессе контроля цветовоспроизведения существует возможность оценить количество элементов воспроизводимого изображения входящих в цветовой охват системы печати (без искажения), а также количество элементов воспроизводимого изображения, не входящих в цветовой охват системы печати (воспроизводимых с искажением характеристик цвета элемента).

Четвертая глава. В настоящее время цвет принято воспроизводить в трехмерном пространстве и измерять в единицах системы CIE Lab, представляющей собой международный стандарт для цветовых измерений, принятый Международной комиссией по освещению (МКО). Оценки в системе CIE Lab определяют, как преобразовать физические измерения изображений в ощущаемые различия. Цветовое различие ΔE рассчитывается как евклидово расстояние между двумя цветами в цветовом пространстве:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

В дальнейшем данный подход претерпел ряд изменений, направленных на уточнение формулы цветового различия за счет учета неоднородности, возникающей ввиду лишь относительной равноконтрастности цветового пространства CIE Lab и был представлен формулами ΔE_{1994} и ΔE_{2000} .

В число приоритетных направлений для получения многокрасочных изображений на печатных изделиях, отвечающих требованиям стандартов, входит создание высокоточных средств контроля цветовых характеристик, являющихся неотъемлемой частью в составе современного полиграфического производства.

Для контроля цветовоспроизведения рассмотрена реализация запатентованного цветоизмерительного устройства (рис. 8) и программного обеспечения [18].

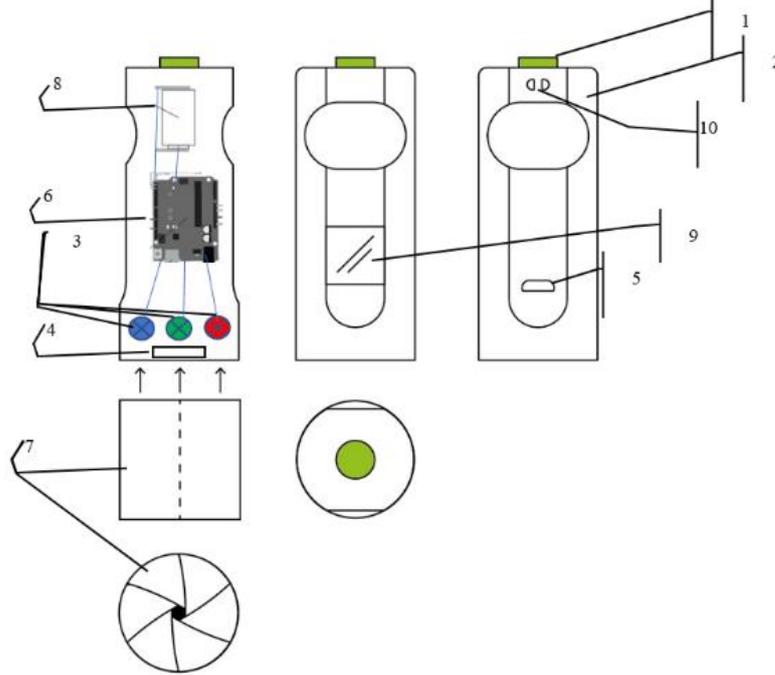


Рисунок 8 – Цветоизмерительное устройство: 1 – кнопка запуска, 2 – корпус, 3 – источники освещения, 4 – светочувствительный датчик, 5 – разъем USB, 6 – контроллер управления устройством, 7 – светоотражающая насадка с переменным диаметром, 8 – элемент питания, 9 – цветной экран, 10 – петля для крепления ремешка

В аппаратной части устройства предложена конструкция светоотражающей насадки, которая обеспечивает изменение площади анализируемой запечатанной поверхности материала, визуализацию данных измерений параметров цвета при отсутствии подключения к ПК. Используется светоотражающая насадка с изменяемой апертурой. Устройства с изменяемой апертурой необходимы для измерения цвета в тех случаях, когда окрашенная поверхность имеет не сплошную окраску или содержит контрастные вкрапления, характеризующие морфологию материала. Диапазон изменения диаметра отверстия находится в пределах от 3 мм до 24 мм.

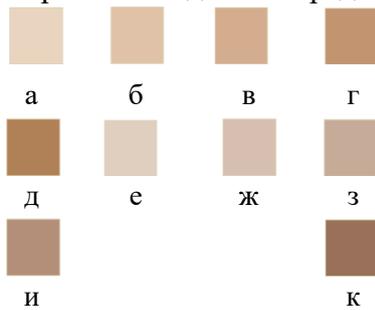


Рисунок 9 – Образцы цвета Pantone

Измерение характеристик цвета осуществляется в отраженном свете источников света, входящих в конструкцию, в диапазоне от 380 до 780 нм. Адекватность программной реализации подтверждается практическими результатами работы измерения колориметрических характеристик красочных пленок (рис. 9), спектральных характеристик (рис. 10).

Наименования на рис. 9 даны буквенно-цифровыми кодами системы спецификации цветов Pantone палитра solid coated): а) 4685С б) 4675С в) 4665С г) 4655С д) 4645С е) 4755С ж) 4745С з) 4735С и) 4725С к) 4715С.



Рисунок 10 – Спектральная характеристика объекта 4685С 4735С

Для объективного объяснения факта, что изменение анализируемой площади приводит к изменению расчетов значений координат цвета в работе впервые введено понятие индекс отклонения координат – под которым понимается изменение стандартных координат цвета за счет изменения анализируемой площади, который определяется по среднему отклонению значения цветового различия:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (100 - \Delta E_i)$$

В таблице 5 представлены колориметрические характеристики красочной пленки, определенные стандартным методом с помощью цветоизмерительного прибора, описанного в патенте RU 2021122745 [15] в условиях стандартной для полиграфической отрасли апертуры измерения в 4 мм.

Таблица 5 – Колориметрические характеристики красочной пленки, определенные стандартным методом

| № | Наименование цвета по Pantone Coated | Координаты цвета эталонные | | | Координаты цвета фактические | | | Цветовое различие, ΔE |
|----|--------------------------------------|----------------------------|-------|-------|------------------------------|------|-------|-------------------------------|
| | | L | a | b | L | a | b | |
| 1 | 4685C | 81,65 | 7,08 | 15,86 | 86,69 | 2,73 | 12,75 | 5,9 |
| 2 | 4675C | 79,63 | 8,18 | 16,81 | 80,95 | 7,07 | 16,04 | 1,4 |
| 3 | 4665C | 71,67 | 11,37 | 22,07 | 72,66 | 8,86 | 18,19 | 2,5 |
| 4 | 4655C | 65,02 | 14,16 | 23,79 | 62,04 | 7,68 | 22,83 | 5,8 |
| 5 | 4645C | 56,84 | 16,76 | 27,96 | 51,28 | 8,43 | 31,33 | 8,9 |
| 6 | 4755C | 80,49 | 6,6 | 8,79 | 86,02 | 0,77 | 11,21 | 8,8 |
| 7 | 4745C | 75,63 | 8,49 | 10,41 | 79,60 | 5,28 | 7,48 | 4,5 |
| 8 | 4735C | 69,3 | 10,41 | 13,06 | 70,70 | 3,73 | 9,78 | 6,9 |
| 9 | 4725C | 60,79 | 13,64 | 14,61 | 58,26 | 5,49 | 13,66 | 8,1 |
| 10 | 4715C | 49,76 | 16,59 | 18,19 | 42,52 | 8,06 | 16,90 | 9,9 |

С учетом использования для анализа большей площади (20 мм), значения координат цвета примут следующие значения (табл. 6).

Таблица 6 – Расчетные значения координат цвета с учетом индекса отклонения координат

| № | Наименование цвета по Pantone Coated | Координаты цвета эталонные | | | Координаты цвета фактические | | | Цветовое различие, ΔE |
|----|--------------------------------------|----------------------------|-------|-------|------------------------------|------|-------|-------------------------------|
| | | L | a | b | L | a | b | |
| 1 | 4685C | 81,65 | 7,08 | 15,86 | 89,51 | 3,96 | 0,96 | 12,3 |
| 2 | 4675C | 79,63 | 8,18 | 16,81 | 86,11 | 5,17 | 5,24 | 9,1 |
| 3 | 4665C | 71,67 | 11,37 | 22,07 | 80,70 | 5,17 | 5,24 | 12,7 |
| 4 | 4655C | 65,02 | 14,16 | 23,79 | 80,70 | 5,30 | 8,94 | 15,3 |
| 5 | 4645C | 56,84 | 16,76 | 27,96 | 72,27 | 5,49 | 14,16 | 15,9 |
| 6 | 4755C | 80,49 | 6,6 | 8,79 | 64,15 | 4,03 | 20,57 | 15,3 |
| 7 | 4745C | 75,63 | 8,49 | 10,41 | 89,60 | 1,81 | -0,58 | 14,3 |
| 8 | 4735C | 69,3 | 10,41 | 13,06 | 85,88 | 4,35 | 0,45 | 15,8 |
| 9 | 4725C | 60,79 | 13,64 | 14,61 | 79,06 | 2,93 | 1,83 | 18,7 |
| 10 | 4715C | 49,76 | 16,59 | 18,19 | 58,76 | 2,60 | 10,08 | 15,3 |

Программная часть, разработанная для работы с данными измерений, имеет следующие функции:

- формирование массива данных, получаемых с устройства; последующее их преобразование к необходимым цветовым пространствам;
- расчет и визуализация цветового различия системы воспроизведения цвета ΔE ;
- экспорт данных измерений в удобные форматы для последующего анализа.

Согласно расчетам, по данным (табл. 6), индекс отклонения координат апертуры 20 мм составляет 85,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны методы, программное обеспечение и устройство для контроля характеристик печатных изделий, позволяющие повысить точность контролируемых характеристик и, как следствие, качество печатных изделий с учетом их индивидуальности, а также решать проблемы импортозамещения и экологической безопасности.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан метод определения красковосприятости материала, в основе которого состоит расчет критерия, представленного в виде суммарной массы краски, при условии, что поверхностная плотность массы краски прямо пропорциональна толщине красочного слоя в контролируемой точке в зависимости от характеристик профиля поверхности материала. Расчет осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения, что позволяет сократить время контроля в 10 раз (с суток до нескольких часов).

2. Метод расчета контроля характеристик краскопереноса, включая «пыление» краски, на основе численного моделирования с учетом наличия отклонений от геометрических допусков цилиндров печатного аппарата, осевой вибрации, шероховатости материала, в отличие от известных методов позволяет прогнозировать «пыление» краски и характеристики краскопереноса с точностью до 0,001, способствует повышению экологической безопасности и вносить корректирующие поправки.

3. Разработанный метод контроля совмещения красок обеспечивает точность совмещения красок в пределах 0,1 мм (при стандартном допуске 0,1–0,15 мм для офсетной печати) для изделий, изготавливаемых с применением способов печатания. Нормируемая точность достигается за счет исключения влияния на результат фактора косины материала ввиду повышения точности его определения с применением запатентованного метода. Предложенный метод, определения косины листа материала печатного изделия, обеспечивает точность до 0,001 мм. Доверительный интервал (уровень значимости 0,95) для стандартизированного метода, составляет $0,827 \pm 0,180$ мм (минимум 0,647 мм, максимум 1,007 мм); для разработанного метода – $0,835 \pm 0,200$ мм (минимум 0,635 мм, максимум 1,035 мм).

5. Разработано цветоизмерительное устройство, отличающееся тем, что светоотражающая насадка с изменяемой апертурой выполнена в виде цилиндра и с одной стороны имеет резьбовое крепление к корпусу цветоизмерительного устройства, а с другой стороны механизм лепестковой диафрагмы, а также тем, что интерпретация данных измерений и выведение их на цветной экран выполняется в графическом виде. Установлено, что изменение площади анализируемой поверхности в совокупности с изменением параметров расчетов координат цвета, позволило повысить точность контроля: показателя цветового различия на 9%.

6. Разработанные программные продукты, позволяющие автоматизировать расчет контролируемых характеристик печатных изделий, апробированы и внедрены в типографии ООО «Полиграф» и в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК:

1. **Трапезникова, О.В.** К вопросу о методах контроля отклонения формы листа бумаги от прямоугольной / О.В. Трапезникова, Л.Б. Серкова, Л.Г. Варепо // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 3(47). – С. 50–55.

2. **Трапезникова, О.В.** К вопросу повышения точности контроля показателей качества многокрасочных печатных изделий / О. В. Трапезникова. – DOI: 10.25699/SSSB.2021.36.2.012// Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 2(36). – С. 158–162.

3. **Трапезникова, О. В.** Анализ методов контроля точности совмещения красок / О. В. Трапезникова. – DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.00 // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 3(37). – С. 103–108.

4. **Трапезникова, О.В.** К решению задачи управления и контроля показателей деления краски в зоне печатного контакта / О.В. Трапезникова, Л.Г. Варепо, И.В. Нагорнова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №9. – С. 625–630.

5. Моделирование переноса вязкой несжимаемой жидкости и компьютерная графика ее деформаций в зоне контакта / Л.Г.Варепо, А.В. Паничкин, **О.В. Трапезникова** [и др.] // Омский научный вестник. – 2018. – № 3 (159). – С. 137–142.

6. Алгоритм построения и визуализации геометрической модели реальной детали / Л.Г. Варепо, **О.В. Трапезникова**, В.И. Глухов [и др.] // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 3. – С. 86–96.

7. Варепо, Л.Г. Исследование взаимосвязи между свойствами поверхности бумаги (картона) и цветовоспроизведением / Л.Г. Варепо, А.В. Голунов, **О.В. Трапезникова** // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 6. – С. 30–40.

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, включенных в одну из баз цитирования (Web of Science , Scopus):

8. Varepo, L.G. Application of electron microscopy method for quality control of paint coating surface / L.G. Varepo, I.V. Nagornova, **O.V. Trapeznikova**. – DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.283 // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113. – P. 357–361.

9. Method of calculation volume of the color gamut body / L.G. Varepo, A.V. Golunov, **O.V. Trapeznikova** [et al.]. – DOI: 10.1201/b18470-18 // Testing and Measurement: Techniques and Applications : Proceedings International Conference, January 16-17 2015. – London : Taylor & Francis Group, 2015. – P. 69–71.

10. Revisiting the quality control of ink layer / L.G. Varepo, **O.V. Trapeznikova**, E.V. Trapeznikov, I.V. Nagornova. – DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.627 // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 152. – P. 478–481. – URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816320355>.

11. Automated control and interpretation of colour reproduction / A.V. Golunov, V.Yu. Kimosov, **O.V. Trapeznikova** [et al.]. – DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819014 // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – Omsk, 2017. – P. 1–5. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7819014/>.

12. Sysuev, I.A. Revisiting measuring colour gamut of the color-reproducing system: interpretation aspects / I.A. Sysuev, L.G. Varepo, **O.V. Trapeznikova**. – DOI: 10.1088/1742-6596/998/1/012033 // Journal of Physics Conference Series. – 2018. – Vol. 998. – P. 1–4. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/998/1/012033/pdf>.

13. **Trapeznikova, O.V.** Printing quality control automation / O.V. Trapeznikova. – DOI: 10.1088/1742-6596/998/1/012038 // Journal of Physics Conference Series. – 2018. – Vol. 998. – P. 1–5. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/998/1/012038/pdf>.

14. Approach to the estimation of print layers offset in the printing system / **O.V. Trapeznikova**, O.A. Kolozova, E.V. Trapeznikov, L.B. Serkova. – DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032039 // Journal of Physics : Conference Series. – 2019. – Vol. 1260 : Mechanical Science and Technology Update. – P. 032039. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1260/3/032039/pdf>.

15. The algorithm design of a part geometrical model aimed for increasing to the accuracy control / **O.V. Trapeznikova**, L.G. Varepo, E.V. Trapeznikov [et al.]. – DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012144 // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1210. – P. 012144-1–012144-7.

16. Control and testing of the additive systems color gamut in engineering / A.V. Golunov, S.A. Shcheglov, **O.V. Trapeznikova** [et al.]. – DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012062 // Jour-

nal of Physics : Conference Series. – 2020. – Vol. 1546. – P. 012062. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1546/1/012062/pdf>.

Патенты и государственная регистрация программ для ЭВМ:

17. Патент № 2776593 Российская Федерация, МПК G01B 11/26; G01N 33/34 (2006.01). Метод определения косины листа : № 2021121138 : заявл. 16.07.2021 : опубл. 22.06.2022 / Серкова Л.Б., Варепо Л.Г., **Трапезникова О.В.** ; заявитель ОмГТУ.

18. Патент № 207191 Российская Федерация, МПК G01J 3/50 (2006.01). Светоизмерительное устройство : № 2021122745 : заявл. 30.07.2021 : опубл. 15.10.2021 / Варепо Л.Г., **Трапезникова О.В.**, Голунов А.В., Голунова А.С. ; заявитель ОмГТУ.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619696 Российская Федерация. Программный продукт для оценки цветовоспроизведения печатной системы : № 2014617401 : заявл. 24.07.2014 : опубл. 19.09.2014 / Л.Г. Варепо, **О.В. Трапезникова** ; заявитель ОмГТУ.

20. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 22517 от 17.01.17. Программа «Оценка характеристик микрогеометрии поверхности запечатываемых подложек» / Л.Г. Варепо, **О.В. Трапезникова**, Е.В. Трапезников, И.В. Нагорнова. – Москва : ОФЭР-НиО, 2017.

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610018 Российская Федерация. Определение и контроль показателей краскопереноса с учетом влияния осевой вибрации и геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата : № 2019666629 : заявл. 18.12.2019 : опубл. 09.01.2020 / Л.Г. Варепо, А.В. Паничкин, **О.В. Трапезникова** ; заявитель ОмГТУ.

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661257 Российская Федерация. Определение красковосприятости : № 2020660627 : заявл. 21.09.2020 : опубл. 21.09.2020 / **О. В. Трапезникова** ; заявитель ОмГТУ.

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.10.23 г. Формат 60x84/16.

Отпечатано на дупликаторе. Усл.печ.л. 1,05.

Тираж 100 экз. Заказ 151.

Типография: 644050, Омск-50, пр. Мира, 11, т.: 65-32-08.

Омский государственный технический университет,
отдел научной информации