

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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»**

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Варепо Лариса Григорьевна

Омск 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
<b>1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ</b> .....	<b>16</b>
1.1 Субъективные и объективные критерии оценки качества характеристик изделий, полученных способами печатания .....	16
1.2 Печатная система – объект методов контроля показателей качества печатных изделий и автоматизации.....	19
1.3 Анализ методов и систем контроля характеристик печатного изделия на стадии печатного процесса.....	23
1.4 Методы и средства контроля «пыления» краски .....	40
1.5 Методы и средства контроля характеристик цветопередачи .....	43
1.6 Методы определения и контроля косины материала печатных изделий .....	47
Выводы по главе 1 .....	53
<b>2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАСКОВОСПРИЯТИЯ МАТЕРИАЛА И КРАСКОПЕРЕНОСА</b> .....	<b>54</b>
<b>ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНОГО ИЗДЕЛИЯ</b> .....	<b>54</b>
2.1 Разработка метода определения красковосприятия материала.....	54
2.2 Общая характеристика компонентов печатной системы, их влияние на показатели контроля изделия.....	59
2.3 Метрологическое обеспечение точности геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата .....	63
2.4 Контроль характеристик краскопереноса с учетом влияния осевой вибрации цилиндров печатного аппарата .....	69
2.5 Практическая реализация алгоритма для контроля характеристик краскопереноса печатного изделия .....	78
Выводы по главе 2.....	82
<b>3 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА И МНОГОКРАСОЧНЫХ ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ</b> .....	<b>84</b>
3.1 Разработка алгоритма и программного обеспечения для определения характеристик микрогеометрии подложки.....	87
3.2 Разработка метода определения косины печатного изделия.....	91
3.3 Разработка метода контроля совмещения красок.....	95

3.4 Управление геометрической точностью элементов изделий печатной электроники .....	108
Выводы по главе 3.....	112
<b>4 ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ .....</b>	<b>114</b>
4.1 Разработка цветоизмерительного устройства .....	114
4.2 Результаты апробации цветоизмерительного устройства для контроля колориметрических характеристик печатных изделий.....	121
Выводы по главе 4.....	130
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>131</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>133</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....</b>	<b>154</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....</b>	<b>155</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....</b>	<b>156</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....</b>	<b>157</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6 .....</b>	<b>162</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7 .....</b>	<b>163</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 8 .....</b>	<b>164</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 9 .....</b>	<b>165</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 10 .....</b>	<b>170</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы и степень ее разработанности.** 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.). Характеристики печатных изделий напрямую определяют их назначение. К основным, на которые существенное влияние оказывает материал печатного изделия, следует отнести: пробивание краски, растискивание, зависящие от красковосприятости и краскопереноса, включая «пыление» краски, несовмещение красок и точность цветовоспроизведения. Контроль обусловлен необходимостью предотвращения возникновения критических дефектов и дефектов печатания, бракующих печатное изделие. Проблема повышения объективности 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, так и контрольно-измерительной техники и методов контроля; 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).

Полиграфия сегодня имеет тенденцию развития в сторону повышения уровня автоматизации и управления производством печатной продукции ввиду широкого использования глобальных и локальных вычислительных сетей. Стремительно растущий ассортимент новых запечатываемых материалов и печатных красок (в большинстве, поставляемых из-за рубежа), а также новые решения в области технологии печати, указывают на увеличение роста переменных факторов, влияющих на качество печатных изделий, в том числе

многокрасочного изображения. Цвет при передаче многокрасочного изображения на печатный носитель нужно контролировать, чтобы минимизировать различия между оригиналом и готовым изделием. Контроль цветопередачи многослойного изображения (совмещение красок) определяется как субъективными методами визуального восприятия изображения, так и объективными с применением контрольно-измерительных приборов и контрольно-измерительных систем.

Кроме того, обеспечение заданного уровня качества имеет большое значение, поскольку выходные характеристики печатных изделий напрямую определяют ее назначение. Точность передачи цвета и мелких элементов изображения является одной из ключевых особенностей процесса изготовления печатного изделия. Группа сложности оригинала влияет как на набор единичных показателей качества, так и на соответствующие требования, регламентируемые конкретными нормативными документами. Достижение высокой рентабельности производства с целью обеспечения необходимого уровня качества, в том числе изделий специального назначения на носителях с элементами защиты, рассматривается как важная научно-техническая задача. Решение задачи обеспечения и увеличения графической точности и точности цветопередачи, со своей стороны, подчеркивает необходимость ее решения на этапе контроля и управления процессом производства печатных изделий.

Сложность контроля обусловлена большим количеством переменных и незначительным диапазоном допустимых значений. В этих условиях объективный и по возможности автоматизированный контроль может быть обеспечен только путем инструментальной оценки.

Обеспечение качества печатных изделий при передаче многокрасочного изображения, в соответствии с предъявляемыми требованиями стандартами ISO и ГОСТ Р, достигается либо за счет оптимального подбора основных компонентов печатной системы (ОКПС), под которой понимается совокупность технических и технологических средств подготовки печати, непосредственно печать и контроль показателей качества, либо за счет совершенствование методов контроля и

повышения их точности, с соблюдением требований по экологической безопасности.

Применение высокотехнологичных измерительных приборов и устройств, спектрофотометрических и колориметрических принципов измерений для контроля характеристик цветопередачи весьма эффективно. К недостаткам известных цветоизмерительных устройств 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.

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 измерения тест-шкал, Prinect Image Control 3 – колориметрическая система для контроля и управления цветом (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.

Рост ассортимента и номенклатуры проектируемых печатных изделий, классификация по различным группам сложности увеличивают объем как проектных работ, так и работ по установлению соответствия контролируемых показателей установленным нормативам.

Тема исследования является продолжением исследований в части разработки и совершенствования методов, моделирующих влияние переменных на условия взаимодействия компонентов печатной системы для прогнозирования и контроля характеристик печатных изделий. Фундаментальный вклад в исследование и решение, вышеуказанной проблемы, внесли как отечественные, так и зарубежные ученые, в числе которых: Щипков К.В., Кузнецов Ю.В., Андреев Ю.С., Баблюк Е.Б., Бобров В.И., Леонтьев В.Н., Лихачев В.В., Луканин П.В., Морфлюк В.Ф., Chuang C. P., Torres F., Jang W., Bergman L., Trepanier R.J., Guan L.M., Verikas A., Lundström J. и др. Необходимо отметить, что по вопросам, относящимся к рассматриваемой теме количество работ ограничено. В фондах диссертационного отдела Российской Государственной библиотеки им. Ленина находятся следующие работы: Д. М. Александрова, А. К. Хмельницкого, К. В. Щипкова. 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.

Не смотря на наличие значительного количества работ зарубежных и отечественных ученых, по отдельным аспектам оценки и методам контроля характеристик качества офсетной печати, необходимо отметить несоответствие известных моделей и методов современным требованиям. Остается открытым вопрос оценки и контроля равномерности распределения красочного слоя, какие характеристики печатной системы оказываются приоритетными при делении красочного слоя в процессе его переноса на печатный носитель, количественная оценка «пыления» краски, как фактора обеспечения экологической безопасности в цехе.

Таким образом, совершенствование методов контроля на стадиях проектирования и производства печатного изделия во многом определяет его качество и эффективность.

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. Следует учитывать, что результат контроля при этом напрямую зависит от точности определения косины подложки, а также этот показатель важен 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.

Стандартизированный метод определения, например, красковосприятия (ГОСТ 24356-80), который был введен более 40 лет назад, занимает много времени (до полного высыхания контролируемого образца после нанесения краски в процессе печатания) и не учитывает современный ассортимент подложек для печатных изделий. Среди теоретических методов важным инструментом исследования с появлением производительной вычислительной техники является использование аппарата современной теории моделирования. В работе учитывались результаты предшествующих исследований в области процесса контроля качества печатной продукции Л. Г. Варепо, А. В. Голунова, С. И. Дыдышко.

Кроме того, в сложившихся экономических условиях, необходимо учитывать и то обстоятельство, что в настоящее время высокотехнологичное печатное оборудование производится в зарубежных странах, со стороны которых в настоящее время в отношении Российской Федерации введены санкции. Это вводит ограничения на сроки обслуживания действующего и приобретение нового оборудования. 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. Необходимость развития и совершенствования существующих методик, разработка новых алгоритмов и программного обеспечения контроля качества многокрасочных изображений на печатных изделиях, в том числе и для действующего печатного оборудования, не оснащенного автоматизированными системами контроля, подтверждает *актуальность* исследования и важное хозяйственное значение решаемой проблемы, включая задачу по импортозамещению.

**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.

**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 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;

– оценка адекватности разрабатываемых методов в производственных условиях.

**Научная новизна работы.** Разработаны методы и цветоизмерительное устройство 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 подложки.

2. Расчетным и экспериментальным путем обоснованы дополнения в метод 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** заключается в расширении базы данных о контролируемых материалах и методах контроля для производства изделий с использованием технологий печати и возможности применять ее для разработки системы менеджмента качества.

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 07.04.2017); Формирование изображений на различных типах поверхностей изделий и листовых материалах № 1013/1 от 27.12.2018; 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 – краска, подложка; 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 подложки печатного изделия в совокупности с разработанным методом определения совмещения красок, базирующегося 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 устройство 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 использовано метрологически калиброванное оборудование (приборы). Результаты натурных экспериментов выполнялись с использованием инструментального измерения спектральных характеристик цвета (колориметрии) и метрологии с инструментальным определением исследуемых характеристик.

Для контроля показателей на этапах печатания использовали метрологически калиброванное оборудование и приборы. Натурные эксперименты выполнялись с использованием инструментального определения спектральных характеристик цвета (колорометрии) и метрологии с инструментальным определением исследуемых свойств печатного носителя.

При разработке программного обеспечения использовался объектно-ориентированный язык программирования C#, среда разработки – Microsoft Visual Studio. Разработка строится с использованием паттерна проектирования MVC –

модель, контроллер, представление. В данном случае производится разделение всей логики программы отдельно от визуального представления. Данный вариант разработки способствует масштабируемости проекта и в случае необходимости его переноса на другую платформу.

Расчёты при разработке программного обеспечения помещались в отдельные потоки, что обеспечивает следующие преимущества:

1. Обеспечивается независимость потока экранных форм и потока вычислений, что препятствует зависанию визуальных форм.
2. Одновременно возможно запустить несколько вычислений для ускорения процедуры получения результатов.

### **Научные положения, выносимые на защиту**

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

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, базирующегося 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

**Достоверность полученных результатов** подтверждается адекватностью разработанных моделей и их согласием с результатами проведенных экспериментальных исследований, практической реализацией разработанных моделей и алгоритмов, программного обеспечения, на профильном предприятии и в учебном процессе. Достаточной публикацией результатов в научных журналах, их обсуждении на различных конференциях.

**Решенная задача.** Разработаны методы, программное обеспечение и устройство для контроля характеристик печатных изделий, позволяющие автоматизировать процесс контроля, сократить его время, повысить объективность и как следствие, качество печатных изделий с учетом их индивидуальности, способствующее увеличению эксплуатационного ресурса изделий, 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, 2019).

**Публикации.** Основные результаты работы опубликованы в 20 научных трудах, в том числе в 6 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах,

включенных в перечень ВАК, в 8 статьях в зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, включенных в одну из баз цитирования (Web of Science, Scopus). Получено 4 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на полезную модель и 1 патент на изобретение.

**Структура и объем работы.** 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 разработанных программных продуктов на предприятиях полиграфической отрасли и в учебном процессе, свидетельства разработанных программ.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

## 1.1 Субъективные и объективные критерии оценки качества характеристик изделий, полученных способами печатания

Качество печатного изделия определяется точностью цвето- и тоновоспроизведения, передачи мелких деталей, а также точностью приводки в многокрасочной печати и свойствами поверхности отпечатанного изображения всей печатной полосы или печатного листа.

На рисунках 1.1–1.2 указаны параметры, влияющие на качество печатных изделий. В метрологическом контроле этих параметров используются соответствующие измерительные приборы [1].



Рисунок 1.1 – Факторы, влияющие на качество печатных изделий



Рисунок 1.2 – Параметры, определяющие качество печатных изделий

Качество воспроизведения многокрасочного изображения на печатных изделиях (далее многокрасочного изображения) складывается из субъективных особенностей (зрительное восприятия изображения) и объективных возможностей и технологии печатания.

С субъективной точки зрения качество печатного изображения зависит от степени его соответствия эталону (оригиналу). Чем меньше изображение отличается от эталона, тем выше точность и качество воспроизведения.

Субъективная оценка качества (точности) воспроизведения – это результат психологической обработки мозгом воспринимаемой им зрительной информации. В связи с этим большое распространение для оценки качества изображения (например, сравнением с эталоном (оригиналом), тиражного оттиска с оттиском, полученным на пробной печати, попарного сравнения оттисков в процессе печатания тиража), получил метод визуальной экспертизы, путем опроса нескольких экспертов.

Метод визуальной оценки применяют и для оценки отдельных погрешностей (например, потеря на изображении мелких деталей, изменение цвета).

Единичные показатели (оптическая плотность, совмещение отдельных красок, цветовой тон, растискивание, четкость воспроизведения, равномерность распределения краски на оттиске) позволяют установить понятие о качестве продукции и их размерные значения, включая допустимые отклонения их от номинала, вносятся в нормативные документы (ГОСТы, СТП, технические условия, технологические инструкции).

Каждый технологический этап воспроизведения оригинала соответствует определенному процессу контроля, выполняемому с помощью специальных измерительных приборов и оборудования и программно-аппаратных средств (рисунок 1.3) [2].

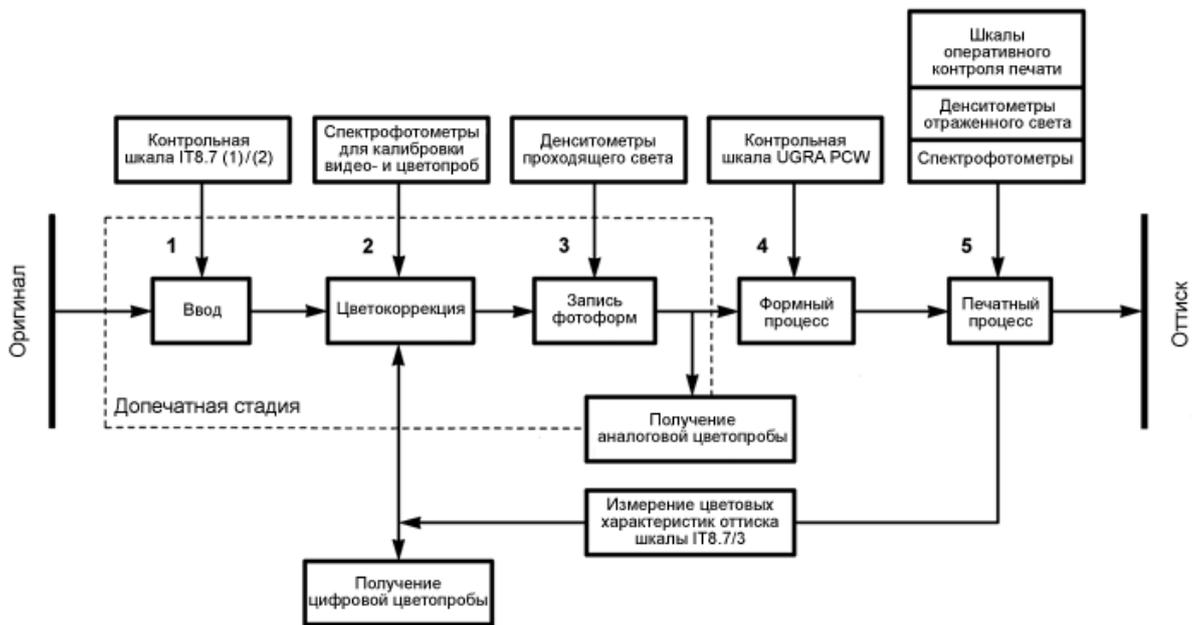


Рисунок 1.3 – Средства контроля в процессе производства оттиска

Оптическая плотность измеряется денситометром и ее значения выражаются в единицах оптической плотности. Совмещение отдельных красок определяется по особым меткам – шкалам, которые размещены на оттиске, а степень совпадения (либо расхождения) их оценивается при помощи

измерительной лупы или микроскопа. Цветовые параметры устанавливаются измерением цвета на выбранных участках оттиска с помощью спектрофотометра.

В практике воздействие случайных факторов приводит к изменению нормативных значений единичных показателей качества изображения на оттисках, вызывая различные дефекты:

– Выщипывание. Причина: повышенная липкость краски, низкая прочность поверхностного слоя бумаги.

– Двоение печатных элементов. Причина: слабо натянуто офсетное полотно, избыточная подача краски.

– Муарообразование. Причина: неправильная подача печатной краски, смещение печатных форм относительно друг друга, неверное изготовление печатных форм.

– Непропечатка. Причина: плохая отладка красочного аппарата.

– Растискивание (увеличение штрихов и растровых точек на оттиске). Причина: избыточная подача краски в красочную систему и на печатную форму, при корректировке в краску введено большое количество разбавителей.

– Разнооттеночность оттисков. Причина: эмульгирование краски, плохой переход краски на форму для печати.

По причине нестабильности печатного процесса контроль единичных показателей качества осуществляется на протяжении всего времени печатания, что позволяет вовремя производить необходимые корректировки [3]. Поэтому потребность в проведении контроля и разработке более точных методов не снижается.

## **1.2 Печатная система – объект методов контроля показателей качества печатных изделий и автоматизации**

Сегодня совершенствование и автоматизация методов контроля – платформа для выпуска конкурентоспособной продукции. Для автоматического получения информации существуют различные устройства в виде датчиков,

разные по принципам действия. Они воспринимают изменения контролируемых параметров технологических процессов. Выходные сигналы этих датчиков преобразуются в электрические или пневматические сигналы, которые затем передаются другими устройствами. Как правило, они связаны с центральными пунктами, где фиксируются и обрабатываются все виды отклонений по различным параметрам.

Известно, что при исследовании автоматизированных систем разделяют технические и экономические уровни управления. Первые, как правило, включают в себя: подачу команд на исполнительные механизмы. Вторые, напротив, отвечают за управление технологическим процессом.

Системы автоматизированного контроля и управления печатным процессом можно распределить по размеру охвата автоматизацией технологических операций и по уровню автоматизации операций управления (таблица 1.1).

Таблица 1.1 Классификации задач автоматического управления печатным процессом [4].

<b>Печатный процесс</b>				
<b>Ступени автоматизации</b>				
	<b>Автоматический контроль параметров состояния</b>	<b>Дистанционное и программное управление</b>	<b>Автоматическое регулирование</b>	<b>Автоматическая оптимизация</b>
<b>Питание бумагой</b>	Уровень. Расход. Положение полотна. Натяжение полотна. Физико-механические свойства.	Замена рулона и автосклеяка. Отбраковка склеек. Автоматический останов при обрыве ленты	Поддержание заданного положения края ленты. Стабилизация натяжения. Кондиционирование бумажной ленты.	Программа непрерывной подачи ленты с автоматической заменой рулона, автосклеякой, стабилизацией натяжения и поперечного положения.
<b>Подача краски</b>	Уровень. Расход. Состав. Физико-химические свойства.	Распределение подачи по ширине в соответствии с площадью печатающих элементов. Дистанционное управление красочным аппаратом.	Регулирование уровня. Регулирование толщины красочного слоя. Регулирование температуры красочных валиков. Стабилизация вязкости изменением подачи растворителя.	

<b>Увлажнение (офсетная печать)</b>	Уровень. Расход. Концентрация. Физико-химические свойства.	Распределение подачи по ширине в соответствии с площадью пробельных участков. Дистанционное управление увлажняющим аппаратом.	Регулирование уровня. Регулирование толщины пленки влаги. Поддержание постоянства рН путем буферных добавок. Поддержание постоянной концентрации спиртового раствора.	Программа автоматической оптимизации работы печатного, красочного и увлажняющего аппаратов. Программа автоматического управления движением ленты через секции печатной машины. Программа оптимизации режима сушки и других способов закрепления краски.
<b>Печатание</b>	Давление. Насыщенность. Цветовой тон. Равномерность красочного слоя. Площадь запечатанных элементов. Приводка красок.	Автоматическая смывка резинового полотна. Отбраковка дефектных оттисков. Дистанционное управление регистровыми устройствами.	Поддержание постоянства оптической плотности. Регулирование цветового тона. Регулирование приводки красок.	
<b>Обработка оттисков</b>	Приводка линии сгиба. Приводка линии реза. Приводка накладываемых полотен. Параметры сушки.	Дистанционное управление регистровыми устройствами. Управление режимом сушки.	Регулирование приводки фальца и линии реза. Регулирование приводки накладываемых полотен. Регулирование режима сушки.	
<b>Приемка и упаковка</b>	Общее количество оттисков. Контроль количества оттисков в партии. Количество партий.	Счет отпечатанных оттисков и оттисков, которые осталось отпечатать. Комплектование партий.		Точный счет выпускаемых изделий с целью минимизации избыточной продукции.
<b>Энергопитание</b>	Скорость. Момент. Расход электроэнергии.	Работа на заданной скорости. Плавное увеличение и уменьшение скорости. Запоминание скорости и выход на ранее заданную скорость.	Поддержание рабочих скоростей независимо от колебаний напряжения в сети. Стабилизация ускорения в режимах пуска и останова. Ограничение момента двигателя в аварийных режимах.	Оптимизация режима разгона, обеспечивающая минимальное время выхода на заданный режим. Минимизация расхода электроэнергии.

Анализируя каждый из отмеченных процессов для конкретной печатной машины, можно полагать, что состояние автоматизации оборудования характеризуется видом, уровнем и степенью автоматизации. Степень автоматизации является сравнительной характеристикой и оценивается по величине коэффициента автоматизации. По виду автоматизации печатное оборудование является комплексно-автоматизированным. Автоматизация печатных машин позволяет повысить качество услуг и эффективность производства, уменьшить малоэффективные операции и количество ошибок, а также упростить контроль.

Сведения о расчете (рисунок 1.4) указанных показателей состояния автоматизации для современных печатных машин различного типа показывает, что приоритет за рулонными печатными машинами, доля использования которых в настоящее время на российском рынке значительно сократилась.

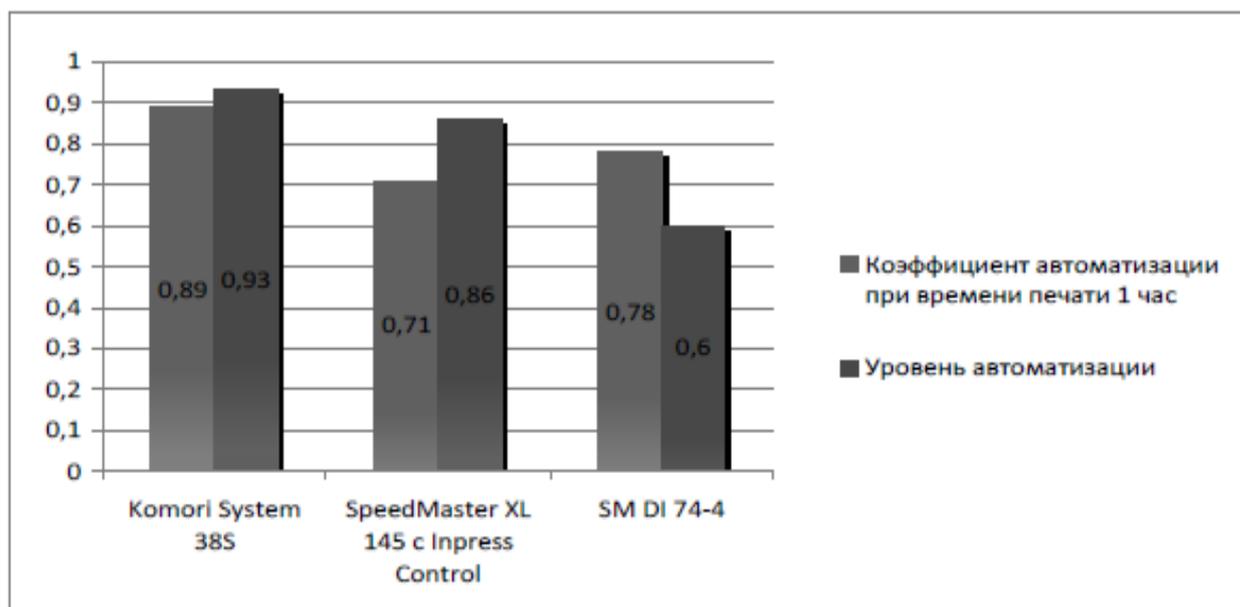


Рисунок 1.4 – Коэффициент и уровень автоматизации печатных машин [4]

Для отрасли полиграфии выбор системы автоматизации и контроля показателей качества остается сложной и трудоемкой задачей.

### **1.3 Анализ методов и систем контроля характеристик печатного изделия на стадии печатного процесса**

Степень соответствия характеристик печатного изделия (печатной продукции) требованиям технической документации необходимое условие при контроле ее качества.

Конструктивные и логистические взаимосвязи при изготовлении печатной продукции, включая оборудование, программное обеспечение, полиграфические материалы, технологии, составляют основные критерии, которые необходимо брать во внимание при разработке системы управления и методов контроля показателей качества. Соответствие системы контроля показателей качества конкретному виду продукции обеспечивает максимальную эффективность удовлетворения потребностей [5]. На сегодняшний день существует много зарубежных систем контроля показателей качества печатного процесса, использующих различные методы измерения.

Фирма Heidelberg разработала технологию спектрального измерения, которая отвечает повышенным требованиям к качеству, действуя с идеальной точностью. Уникальная система регулировки подачи краски устраняет даже самые малые цветовые отклонения, гарантируя воспроизводимость. Системы контроля качества цвета от Heidelberg:

– Prinect Easy Control.

Преимущества:

- Показывает значения оптической плотности,  $L^*a^*b^*$ , отклонение  $\Delta E$  от заданного цвета, растискивание, смазывание/двоение, оптимальное соответствие заданному цвету.
- Совместное хранение печатного задания и цветовых данных ускоряет настройку красочного аппарата в повторяющихся работах.
- Онлайнное управление электроприводами красочных зон в восьми печатных секциях при односторонней печати и двухсторонней печати с переворотом.

- Автоматическое распознавание контрольной шкалы — экономия времени, оператору не нужно самому указывать тип шкалы.
  - Колориметрический контроль на базе спектрального измерения, оптимальный результат коррекции цвета с точки зрения визуального восприятия.
  - Точное измерение цветовых образцов, гарантированное воспроизведение цвета без отклонений.
- Prinect Axis Control – интегрированная система спектрофотометрических измерений (рисунок 1.5).

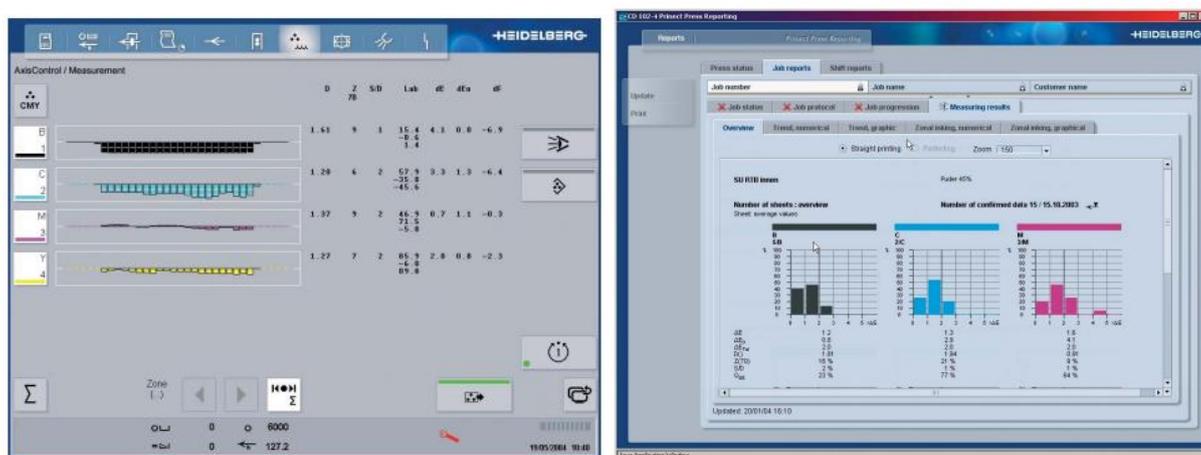


Рисунок 1.5 – Интерфейс системы Prinect Axis Control

#### Преимущества:

- Не требующий обслуживания светодиодный источник освещения.
- Одновременная регулировка красочных зон в 10 печатных секциях для односторонней печати или двухсторонней печати за один прогон.
- Информация о размерах и толщине бумаги поступает в систему немедленно после загрузки задания в печатную машину.
- Из данных, подготовленных на допечатном этапе, извлекается информация о положении и типе контрольной шкалы. Таким образом, к моменту начала измерения измерительная головка уже выдвинута в нужное положение.
- Система записывает все параметры качества, результаты и количество выполненных измерений. Эти данные можно в любой момент открыть в модуле Analyze Point программы Prinect Pressroom Manager и распечатать. Подробные отчеты, которые генерирует Analyze Point, используются для контроля качества

внутри типографии, а также как доказательство высокого качества печати при общении с клиентами.

- Функция Auto Tracking определяет положение и тип шкалы автоматически в коридоре шириной 40 мм. Область поиска шкалы можно заранее задать на сенсорном экране пульта Prinect Press Center XL 2. Тем самым необходимость в ручном позиционировании измерительной головки устраняется, что экономит немалое время. Если измеряемый лист не выровнен на столе, функция трекинга автоматически исправляет косину.

– Prinect Image Control 3 – спектрофотометрическая система для контроля печатного процесса (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Интерфейс системы Prinect Image Control 3

Преимущества:

- Автономная контрольно-измерительная система, к которой подключаются до 4 печатных машин Speedmaster.
- Единая головка с поляризационным фильтром измеряет контрольную шкалу.
- Настройка в большой степени автоматизирована и осуществляется по данным, подготовленным на допечатном этапе. Непосредственно в печатном изображении система распознаёт контрольные шкалы, мини-шкалы Mini Spots, контролируемые участки сплошного тона.

- Используя спектрофотометрическую информацию из базы цветковых данных, характеристики бумаги, результаты измерений шкалы и всего изображения, система вычисляет цветовое отклонение в каждой красочной зоне.

- Спектральный контроль позволяет оценивать отдельно влияние бумаги и красок на результат измерения. Мониторинг осуществляется непрерывно и, в отличие от традиционного контроля оптической плотности, в котором целевые значения являются фиксированными, целевые значения автоматически корректируются в случае необходимости.

- Более того, система Prinect Image Control 3 единственная на рынке, которая способна контролировать непосредственно изображения СМΥК. Одним нажатием кнопки тиражный оттиск сохраняется как эталонный. Как только тоновая величина в изображении отклоняется от заданной, система автоматически обнаруживает отклонение и восстанавливает цвет, приближая его к эталону, насколько это возможно. Такой контроль непосредственно по эталонному оттиску особенно эффективен в печати коммерческой продукции, в печати «со своим оборотом», в повторяющихся работах.

– Prinect Inpress Control 2 – интегрированная колориметрическая система для контроля цвета и приводки.

Преимущества:

- Спектрофотометрическая система в последней печатной секции машины, а также перед устройством переворота листа, если это машина двухсторонней печати, контролирует каждый отпечаток «на лету» при любой скорости.

- Спектрофотометром обнаруживаются самые малые отклонения в СМΥК, а также в смесевых цветах. Одновременно проверяется и, если необходимо, корректируется приводка.

- Измерения непосредственно в процессе производства позволяют контролировать качество в непрерывном режиме.

– Prinect Inspection Control 2 – система для обнаружения дефектов печати.

#### Преимущества:

- Две цветные камеры высокого разрешения, установленные в лакировальной секции, мгновенно обнаруживают малейшие дефекты: марашки, непропечатку, потеки, царапины.
- Воздушная проводка листов обеспечивает высокий стандарт контроля вплоть до задней кромки листа.
- Система сравнивает каждый отпечаток с эталоном и, обнаружив дефект, предупреждает оператора.
- Автоматизированная передача информации о допусках и инспектируемых участках из допечатного этапа в рабочем потоке Prinect.

#### Системы контроля качества фирмы КВА:

– КВА QualiTronic Professional – система контроля качества во время печати тиража.

QualiTronic Professional – это симбиоз системы контроля листов Inline и измерения цвета Inline в одной системе. Для машин с переворотом контроль и измерения обеспечиваются двумя системами, так как контроль и регулировка необходимы для обеих сторон. Благодаря сочетанию QualiTronic и QualiTronic ColorControl QualiTronic Professional не только объединяет функции этих двух систем, но создает, так называемую «total quality system». Быстрая смена заказов, высокие требования к качеству печати, низкое количество макулатуры, отсутствие бракованных листов в стапеле вне зависимости от размера тиража – все это позволяет организовать промышленное производство высококачественной печатной продукции на листовых офсетных машинах Rapida.

#### Преимущества:

- Сокращение количества макулатуры при переналадке – особенно важное преимущество при малых тиражах.
- Контроль (контроль ошибок на каждом отпечатанном листе), быстрая реакция на возникающие проблемы, благодаря чему сокращение количества макулатуры – что особенно важно при малых тиражах.
- Регулировка цвета без выемки листов на полной скорости печати.

- Возможно применение после нанесения лака.
- Регулировка оптических плотностей красок на базе измерения оптических плотностей непосредственно в машине, на каждом листе, без остановки производства, на максимальной скорости печати, при печати с переверотом возможна измерение и регулировка с обеих сторон.

– KVA QualiTronic ColorControl – это система для измерения и регулировки цвета (рисунок 1.7).

Благодаря комбинации измерения оптических плотностей в режиме Inline и новой системе регулировки цвета обеспечивает замкнутый контур регулировки – closed loop. Высокочувствительная камера для измерения цвета измеряет контрольные полосы на каждом листе. Актуальные оптические плотности сравниваются с эталонными оптическими плотностями. Разница оптических плотностей регулируется путем динамической регулировки красочных зон.

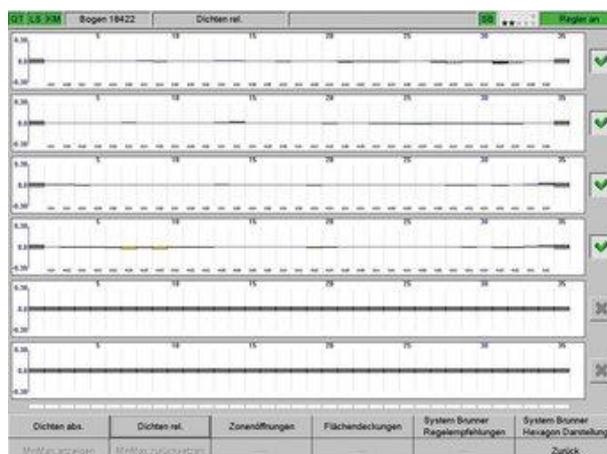


Рисунок 1.7 – Интерфейс системы QualiTronic ColorControl

Преимущества:

- Система обеспечивает непрерывную регулировку каждого 10-го листа на полной скорости работы машины.
- Сокращение количества макулатуры путем быстрого попадания в цвет.
- Экономия макулатуры и высочайшее качество печати благодаря постоянной подаче краски во время печати всего тиража.

– KVA QualiTronic Color Control с Instrument Flight – это дополнительная опция управления цветом от System Brunner, на базе измерения баланса

серого/прироста градации тона, дополнительно к измерению полнотоновых оптических плотностей. Специальное дополнительное программное обеспечение выполняет анализ баланса по серому и растровых полей в специальных контрольных полосах. Эталонные плотности постоянно оптимизируются с точки зрения баланса по серому (рисунок 1.8).

Преимущества:

- Очень высокие стандарты качества при переналадке, печати даже при сложных сюжетах печати (нейтральные серые изображения, двухсторонняя реклама при печати с переворотом, печать с вывороткой).
- Диагностический инструмент для анализа и оптимизации.

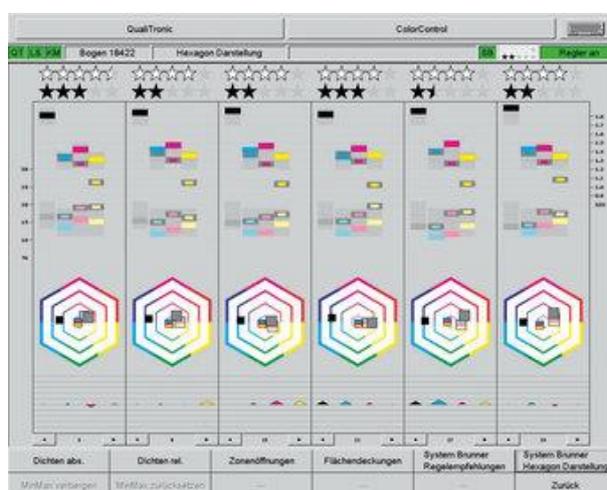


Рисунок 1.8 – Окно интерфейса системы QualiTronic Color Control

– КВА DensiTronic – это система измерения и управления оптическими плотностями их измерением в контрольных полосах (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Система DensiTronic

Измерения на контрольных полосах осуществляются с помощью, установленной измерительной головки на пульте управления машины. Полученные оптические плотности сравниваются с эталонными значениями. По разнице оптических плотностей выполняются необходимые регулировки. Корректировки передаются на машину нажатием кнопки.

Преимущества:

- Быстрое автоматическое измерение и регулировка оптических плотностей.
- Экономия макулатуры благодаря динамическому управлению красочными зонами.

- Контроль качества в режиме Online.

– КВА DensiTronic Professional – это система измерения и регулировки цвета, которая измеряет не только оптические плотности в контрольных полосах, но и произвольные точки в сюжете печати. Измерения листа осуществляется на дополнительном пульте DensiTronic вне машины. Полученные результаты измерения оптических плотностей/спектральные величины сравниваются с эталонными значениями. По полученным отклонениям выполняется регулировка. Корректировки передаются на машину нажатием кнопки

Преимущества:

- Быстрое автоматическое измерение и регулировка оптических плотностей.
- Экономия макулатуры благодаря динамическому управлению красочными зонами.

- Контроль качества в режиме Online.

- Возможны измерения оптических плотностей и спектральные измерения.

– DensiTronic PDF представляет собой автоматизированную систему проверки и контроля качества с функцией корректора. В результате получают качественные тиражные листы в самом начале печати тиража (рисунок 1.10).

Преимущества:

- Распознавание помимо ошибок по содержанию (верстка, текстовое содержание, грубые отклонения по цвету) посторонних частиц на офсетных полотнах и печатных формах.

- Контроль качества.
- Автоматическое протоколирование и сертификация для передачи данных конечным клиентам.



Рисунок 1.10 – Интерфейс системы DensiTronic PDF

Системы контроля качества фирмы X-Rite:

- EasyTrax – система для измерения денситометрических и спектральных параметров печатного изображения (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Система EasyTrax

EasyTrax - автоматическая система с возможностью контроля цвета в любой точке печатного листа (при переходе в ручной режим) для точного контроля печатного процесса, необходимая для печатных машин малого и среднего форматов. EasyTrax упрощает и модернизирует процесс контроля печати, сокращая время на приладку тиража и сохраняя время и расходные материалы.

Преимущества:

- Измерение денситометрических и спектральных параметров.
- Быстрое и точное позиционирование устройства с помощью лазера.

- Система обнаруживает ошибки при измерении шкалы и позволяет получать высокую повторяемость при каждом измерении.
- Возможность обновления ISO стандартов.
- С помощью одной системы измеряется контрольная шкала, и отдельные цвета в любой части печатного листа.
- Измеренные данные отображаются в программе системы, что позволяет быстро и точно настроить красочные ключи в печатной машине.

Предложенные крупнейшими производителями печатного оборудования, системы контроля качества печати имеют ряд недостатков: высокая стоимость, возможность использования только с печатным оборудованием конкретного производителя, они аппаратно зависимы.

Известно, что точная цветопередача является одной из основных функций высококачественной печати. Решению задачи количественной и качественной оценки точности цветопередачи, в том числе ее автоматизации, посвящено значительное количество научных работ и изобретений. За рубежом и в нашей стране используются различные подходы и методы контроля показателей, оценивающих качество печати, в том числе и передачи многокрасочного изображения на печатный носитель (оттиск).

Авторы [6] Chuang and Lai еще в конце прошлого столетия в 1997 г. представили экспертную систему контроля качества для офсетной печати. Система состоит из базы знаний, вывода данных и пользовательского интерфейса.

Напротив, в [7] дается описание автоматизированной системы визуального контроля в режиме реального времени печатной продукции. Используемые методы основаны на сочетании различных дисциплин (например, морфологическая обработка, точность субпикселей, методы планирования, параллельная обработка), что, по их мнению, позволяет достичь компромисса между разрешением и скоростью обработки. Система состоит из двух частей. Первая – механический модуль, сконструированный для того чтобы расположить листы счетов, которые нужно проверить при помощи сканирования изображений. Вторая – модуль машинного зрения (vision), поддерживается различными

аппаратными и программными элементами, как показано на рисунке 1.12. Система Vision состоит из следующих аппаратных элементов: модуль управления, модуль обработки изображений и модуль приема.

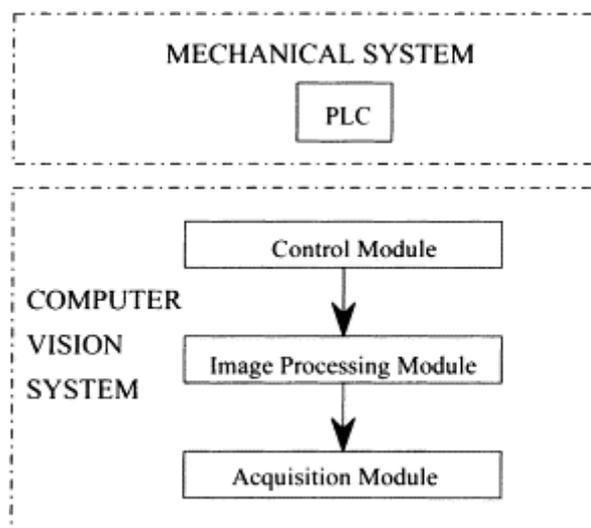


Рисунок 1.12 – Структура системы

Отмечается, что наиболее важным критерием при определении приоритетов систем машинного зрения является время, которое требуется системе в целом для выполнения ее задачи.

В области автоматизированного визуального контроля печатной продукции, наиболее часто используемой методикой является согласование шаблона, где мастер изображения предварительно сканируется или образ создается искусственно из CAD дизайна, а затем, во время процесса обнаружения, его сравнивают с изображением, чтобы проанализировать [7].

Следует заметить, что процесс обнаружения путем сопоставления шаблонов требует поиска конкретных важных точек, которые могут облегчить процесс сравнения. Тем не менее, в сопоставлении шаблонов, используемых при проверке печатной схемы и микросхемах, используется обнаружение и последующая реконструкция с точностью до пикселя. Однако этот метод недостаточен, если необходимо обнаружить небольшие дефекты на точности пикселя.

По мнению [7], применение субпиксельных методов, особенно важно при автоматизированной проверке, чтобы восстановить потерянную информацию при отборе проб и квантификации процессов. Суть метода выявления несовершенств

путем сравнения базируется на вычитании двух однотипных изображений. На практике идеального совпадения двух образов достичь невозможно. Использование субпиксельных методов для определения положения характерных точек, которые затем используются для реконструкции, позволяет улучшить совпадение между изображениями, которое будет сравниваться в реальном времени, но исключает возможность потери информации.

Алгоритм [7], облегчает обнаружение дефектов в ближней пиксельной точностью. Суть этого метода заключается в использовании двух узорных изображений таким образом, что между двумя из них определяется диапазон валидации для продукта (чрезмерные и дефекты по умолчанию). Изображение считается действительным, когда его пикселы находятся между значениями эквивалентных пикселов на каждом из двух узорных изображений, соответствующих верхнему и нижнему пределам. Эталонное изображение соответствует верхнему пределу. На картине сравнения фиксируются только наличие дефекта (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Фиксирование дефекта

Не смотря на удовлетворительные результаты апробации системы в условиях производства при печати банкнот, ее широкое использование осложняется необходимостью того, чтобы изображения шаблонов состояли из множества различных возможных конфигураций, которые могут существовать.

Эталонное изображение [8], представленное в форме отдельных элементов, считывается посредством оптоэлектронного устройства. Оценивается по оптической плотности и в последствие сравнивается с этим показателем,

полученным на контролируемом участке печатного изображения с учетом верхнего и/или нижнего предела, который определяется индивидуально.

Другой способ контроля качества изображения печатного изделия (оттиска) [9] обеспечивает возможность оценки контрастов на контролируемом участке изображения за счет сравнения фактической величины, в качестве которой выступает величина плотности серого тона, с заданной величиной с соблюдением пределов допуска (рисунок 1.14).

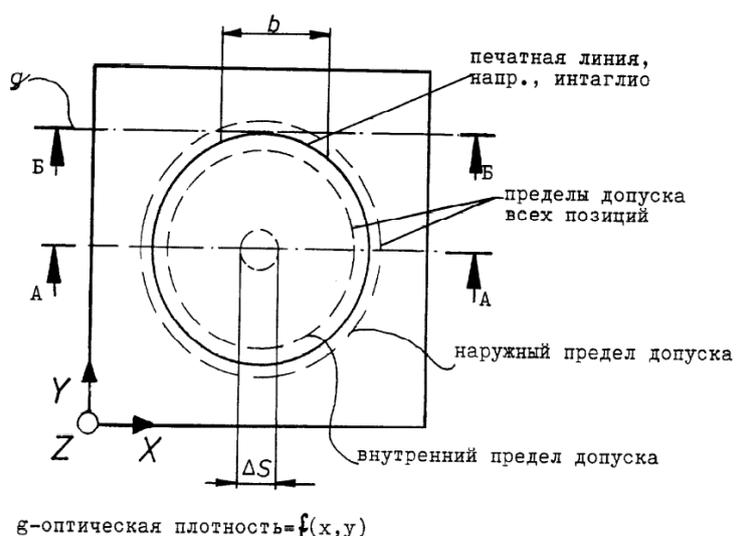


Рисунок 1.14 –  
Представление оптической плотности в виде изображения круга по направлениям x-, y- и z-осей с допуском позиции  $\Delta S$  [9]

Оценить среднее значения плотности серого тона элементов контролируемой зоны, возможно там, где наблюдаются широкие пределы его допуска.

В исследовании [10] использовались сети Байеса и генетические алгоритмы для моделирования общей оценки качества печати группой людей. Структура обученной сети отражала связь между инструментальными измерениями, субъективными параметрами качества печати и общим качеством. Однако, модели, представленные в исследовании, действительны только для электрофотографической печати, не охватывая другие способы.

Результаты ряда исследований [11, 12] свидетельствуют о том, что существует множество атрибутов оценки качества печати, в которых отмечается, что наряду с существующей практикой ручной процедуры оценки качества сложных цветных отпечатков в полиграфической промышленности, все чаще используются вычислительные интеллектуальные методы при анализе

изображений. Приоритет за автоматическими системами контроля качества обосновывается тем, что ручные процедуры являются утомительными, занимают много времени, а результаты субъективны и зависят от квалификации и порой настроения эксперта.

Авторы [13] Willert, Flaspohler, Hubler утверждают, что один из способов достижения точного цветовоспроизведения заключается в использовании спектральных методов для записи, обработки, и воспроизведения цвета. Особенность данного метода в том, что, вместо сокращения цветового представления только по трем параметрам (например, RGB или CIE LAB), цвета записываются точнее в том случае, если источник света широкополосный, а не монохроматический. Преимуществам своего решения авторы считают следующее: отсутствие цветового метамеризма и возможность регистрации практически всех видимых цветов. Учитывая, что наиболее ограничивающим фактором в воспроизведении является наличие печатных красок для достижения желаемого цветового представления, для расчета цветоделения в зависимости от используемых компонентов разработан спектральный алгоритм. Для сравнения также выполняется воспроизведение с использованием рабочего процесса ICC.

Для получения спектральных значений обычно используются достаточно дорогие спектрофотометры. Mestha и др. [14] разработали быстрый, недорогой спектрофотометр на основе светодиодов, способный точно измерять цвет на неподвижной или движущейся подложке.

Среди разработок в области автоматизированных систем измерения и контроля показателей качества печати следует выделить следующие: создание тестовых страниц качества печати [11] (Jang, Chen, Allebach, Chiu); моделирование наиболее распространенных дефекты качества печати [15] (Jang, Allebac; Kowalczyk, Trksak); проверка одного или нескольких параметров качества печати, таких как фактический размер и качество напечатанных точек [6, 16, 17] (Antoine, Lloyd, Antoine; Bergman, Verikas, Bacauskiene; Chuang, Lai); оценка плотности чернил на основе ПЗС-камер [18] (Brydges, Deppner, Kunzli, Heuberger, Hersch; Verikas, Bacauskiene); автоматическое обнаружение и

классификация различных дефектов печати [19] (Perner), зернистость печати [20] (Trepanier, Jordan, Nguyen).

В [21] Guan и др. предложена система для контроля качества офсетной печати (Guan, Lin, Chen, Chen). Важными для оценки качественной печати в ней выделяются такие параметры как воспринимаемый цвет и тон, однородность печати. В базе знаний хранятся и используются для принятия решений в процессе печати данные с разными ситуациями и их влиянием на качество печати.

В исследовании [19] Perner рассмотрена основанная на знаниях система контроля изображений для автоматического обнаружения дефектов, классификаций и диагностики оттисков, полученных способом офсетной печати. В качестве датчика изображения используется линейная ПЗС- камера. Система может распознавать дефекты, классифицировать их по классам, включая смещение цвета, и предлагать оператору действия по устранению причины дефекта.

Другой инструмент обнаружения отклонений на основе анализа изображений, помогающий оператору находить дефекты в печати и принимать соответствующие корректировки, был протестирован на печатном станке глубокой печати Flexo (Shankar, Ravi, Zhong). Предполагается, что система будет использоваться и на офсетных печатных станках. Обнаружение отклонений основано на пороговом разностном изображении между эталонной печатью и пробной печатью. Аналогичный подход сравнения между эталонной печатью и печатным образцом также используется в [22] Kirphan. Система камер измеряет отпечаток, сравнивает измеренные значения  $L^*a^*b^*$  с эталонным изображением и генерирует сигнал ошибки, который можно использовать для управления подачей чернил.

Система контроля качества печати, разработанная [23, 24] (Brown, Jacksson, Bamforth; Brown, Jackson, Parkin) основывается на машинном зрении и использует спектрофотометр на основе голографической решетки совместно с монохромной камерой сканирования области и измеряет ряд характеристик печати, включая цвет и изменение печатных точек. Если в одном из параметров обнаружен дрейф,

система дает оператору указание внести соответствующие коррективы в параметры процесса. Система контроля протестирована только на печатной машине для глубокой печати [25].

Asikainen [26] разработал линейную модель для прогнозирования значения общего показателя качества изображения с использованием четырех атрибутов: цветности, контрастности, шума и различия цветов, измеренных на эталонном изображении, напечатанном на струйном принтере. Было обнаружено хорошее соответствие между моделью и экспертными оценками общего качества [27].

В соответствии со стандартом ISO 12647-2 для обеспечения качества офсетной печати была разработана структура, позволяющую сократить время настройки печатных машин [18]. Структура представляет собой комплексный подход для контроля параметров качества печати на офсетной печатной машине. Позволяет: хранить данные для проверки качества распечатки в соответствии со стандартами ISO, выявлять недостатки качества, которые помогут операторам машины решить большинство проблем, связанных с качеством, и разработать поправки для типичных параметров настройки, чтобы сократить время готовности.

Напротив, [28] Борисенко Е.А. и Виноградов Е.Л. рассматривают возможность оценки качества печатной продукции методом рефлектromетрии (по приросту тона оттисков и коэффициенту отражения света центральными участками пробелов).

А.С. Гуца и Н. Э. Трусевич в [29] описывают статистическую модель интегрированного показателя оценки технологичности печатной и упаковочной продукции. Модель позволяет учитывать взаимосвязи и взаимообусловленность частных свойств, из которых в итоге складывается интегральное качество печатной продукции.

Метод контроля качества печатного оттиска, основанный на использовании цифровой модели изображения, предлагает С.И. Дыдышко [30]. Отличительные особенности этого метода состоят в том, что он:

- позволяет исследовать влияние параметров печатного процесса непосредственно по всей площади воспроизводимого изображения, по сравнению с традиционным контролем с применением тестовых объектов;
- дает возможность, установить связь между объективными и субъективными критериями;
- позволяет составить попиксельную карту градационного и хроматического соответствия анализируемых изображений.

В [27] J. Lundström и A. Verikas отмечают, что обработка информации на различных этапах по отношению к полиграфической промышленности имеет высокую степень автоматизации за исключением процесса оценка качества печати. Они рассматривают вопросы разработки подхода к управлению процессом качества печати на основе Random Forest (RF) – алгоритма машинного обучения, основанного на объективных значениях нескольких параметров качества печати. Значения параметров получены с помощью датчиков посредством интеллектуального анализа данных и анализа цветных изображений. Исследование показывает, что RF - модель, использующая атрибуты качества печати, может обеспечить оценку качества печати, адекватную с оценками качества печати, полученными от экспертов. Атрибуты качества печати, используемые в этой работе, автоматически измеряются на простых тестовых областях, так называемых двойных серых полосах, и могут быть использованы в экспертных системах поддержки принятия решений, предназначенные для печати и производства бумаги в промышленности. Принимая во внимание довольно большое разногласие между субъективной оценкой качества печати, предоставляемые различными субъектами, точность прогноза оценки качества печати, полученная из разработанной модели весьма обнадеживает. Однако для достижения лучшей эффективности модели количество атрибутов качества не должно превышать трех-четырёх.

#### 1.4 Методы и средства контроля «пыления» краски

В красочном аппарате печатной машины происходит формирование слоя краски нормируемой толщины. В процессе раскатывания краски и передачи ее между валиками образуются красочные нити, называемые «тяжи», которым свойственно разрываться и возникает так называемое «пыление» краски.

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 – снижение качества печати, повышенные риски экологической безопасности (загрязнение рабочих помещений и машин, воздействие на здоровье рабочих).

По мнению авторов [31], красочная пыль, отрываясь от валиков, заряжается статическим электричеством и устойчиво удерживается в воздухе в виде мельчайших капелек, которые разносятся потоком воздуха не только по всему цеху, но и попадают в смежные помещения, отрицательно сказываясь на здоровье и безопасности работающего персонала.

В упрощенном виде перенос пленки вязкой несжимаемой жидкости в зоне контакта вращающихся цилиндров печатного аппарата можно представить как повторяющийся сдвиг пленки под давлением с последующим процессом расщепления в результате его разрыва. Расщепление пленки вязкой несжимаемой жидкости ограничивается прочными когезионными связями, которые и способствуют ее сдвигу в зоне контакта. В результате образуется один большой, так называемый, тяж. На выходе из зоны контакта двух вращающихся цилиндров происходит его разрыв из-за быстрого растяжения жидкости с разбрызгивание частиц вязкой несжимаемой жидкости центробежными силами в виде «пыления» (рисунок 1.15).

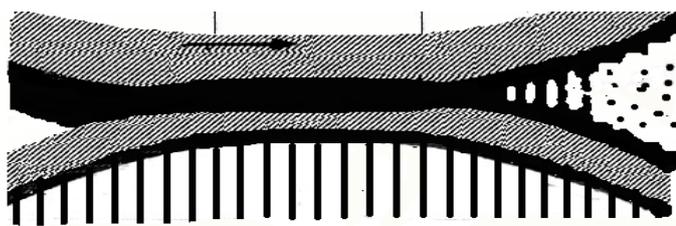


Рисунок 1.15 – Расщепление пленки вязкой несжимаемой жидкости между вращающимися цилиндрами с образованием пыления

Анализ научных публикаций по обозначенной проблеме показал, что она изучена недостаточно полно, количество публикаций немногочисленно. Конкурентоспособность продукции на рынке требует более точной количественной оценки потерь вязкой несжимаемой жидкости в виде пыления.

При использовании различных упрощенных методик для исследования протекания пленки вязкой несжимаемой жидкости между вращающимися цилиндрами в работах [32, 33] была получена качественная оценка параметра пыления. Практическая реализация его рассмотрена на примере переноса на запечатываемый материал вязкой несжимаемой жидкости (краски). В [34, 35] отмечается возможность определить реальные коэффициенты расщепления на примере красочного слоя с помощью комплексного испытательного стенда, а также компьютерного моделирования.

Наряду с ранее известными методами борьбы с «пылением»: группа электрофизических методов и группа методов, основанные на применении различных химических добавок, предлагаются в последние годы новые подходы [36, 37].

Суть этих решений заключается в следующем. Для количественного анализа используется изображение, полученное с помощью, так называемой, ловушки для «пыли». В качестве ловушки для «пыления» служит лист бумаги, установленной вокруг верхней образующей роля, на котором фиксируются следы пыления жидкости. Изображение капель краски на листе сканировалось для дальнейшей математической обработки данных. Анализировалось измерением

распределения капель красочной пыли и общей площадью, с помощью специального программного обеспечения.

Снижение пыления краски достигается «разрезанием» нити до ее формирования введением проволоки или клинка в зазор между ролами параллельно им. Результаты, полученные авторами [36, 37] показали, что клинок уменьшает уровень пыления в среднем на 92% и более эффективен при больших скоростях. Проволока, напротив, действует лучше при низких скоростях, при более высоких скоростях вибрация проволоки вызывает увеличение сил, таким образом, она не может быть установлена близко к точке разрыва при высоких скоростях печати.

Авторы [38] уровень «пыления» краски связывают с шероховатостью контактирующих поверхностей. Также известно, что при печати под давлением происходят различного рода деформации в зоне печатного контакта, что непосредственно влияет на пыление.

По мнению [39], соотношение и величины обоих видов деформаций зависят от свойств материала декелей, геометрических параметров печатной пары и её привода, а также от типа привода, который может быть принудительным или фрикционным. Однако в своей работе они рассматривают явление пыления краски с учетом шероховатости поверхности офсетной печатной формы, утверждая, что методика разработанного ими расчета позволяет прогнозировать качество печати и количество печатной краски, участвующей в образовании красочного пыления, но не приводят данных о количественной оценке «пыления» краски

Анализ периодической литературы по данному вопросу позволил выявить, что введение дополнительных приспособлений и устройств в зону печатного контакта имеет ограничения в виду:

- усложнения конструкции и, как следствие, удорожание печатного оборудования;
- прямой зависимости изображения, полученного с помощью ловушки, от точности ее установки и фиксирования, формы, размера и т.д.

направление разработки новых подходов к решению проблемы снижения пыления краски и количественной оценки этого показателя, ввиду высокой сложности ее определения, в настоящее время представляют научный и практический интерес, является актуальным.

Растущий интерес к данному вопросу подтверждается целым рядом работ, проведенных зарубежными исследователями на протяжении двух последних десятилетий [32-37]. Также он обусловлен возможностями компьютерной техники и программного обеспечения, что позволяет упростить моделирование гидродинамических процессов. Исследование влияния геометрических параметров печатной пары, а также шероховатости ее поверхности на качество оттисков и на пыление остается актуальной задачей.

### **1.5 Методы и средства контроля характеристик цветопередачи**

Вопрос количественного описания цвета и диапазона цветов, которые система может воспроизвести, является одним из главных при решении задачи обеспечения визуального равенства между оригиналом и воспроизводимым изображением. За последние два десятилетия были разработаны различные подходы для автоматического контроля и определения характеристик качества печати многоцветного изображения. На современном рынке достаточно велик ассортимент устройств измерения характеристик цветовоспроизведения, которым свойственны достоинства и недостатки.

В [40] был предложен метод контроля совмещения красок при печатании изображения на листовых машинах с точностью до 0.05 мм на основе численного моделирования и информация обработки амплитудно-временных параметров импульсных сигналов с оптических датчиков для определения параметров передается на блок управления ориентацией листа.

Предложен способ получения эталонной модели для контроля качества печати изображения ценных бумаг при помощи электронных средств [41] (рисунок 1.16).

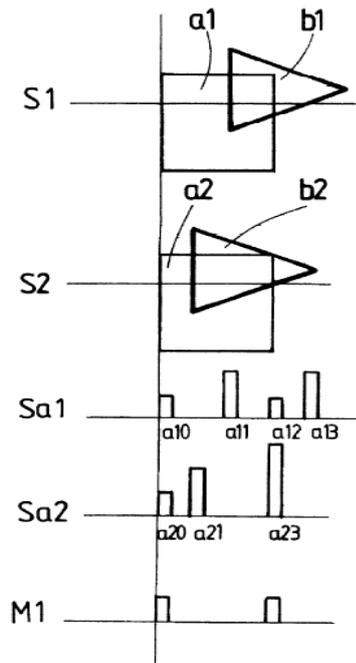


Рисунок 1.16 – Схема способа контроля многокрасочного изображения при помощи электронных средств

Контролируемые изображения совмещаются, вводятся в память в виде денситометрических величин пикселей ( $a_{10}$ ,  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ ,  $a_{20}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{23}$ ) с созданием для каждого из них отдельного рисунка (с минимально считанной величиной ( $a_{10}$ ,  $a_{12}$ ) модели (M)). Положительный аспект способа простота получения эталонной модели. Напротив, недостаток способа его высокая трудоемкость и низкая оперативность.

В [42] реализован способ обработки сигналов для автоматического контроля многоцветного изображения с использованием оптоэлектронного устройства, в качестве которого может быть группа матричных или линейных светочувствительных камер для получения сигнала в каждом цветовом канале (рисунок 1.17).

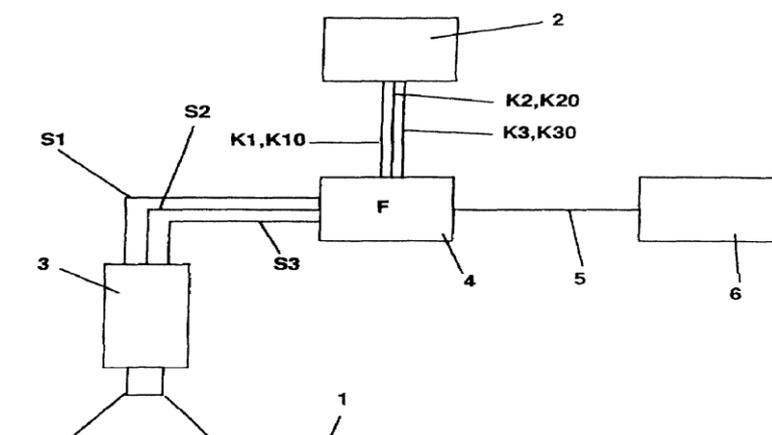


Рисунок 1.17 – Устройство для контроля многоцветного изображения

Предварительно осуществляют комбинирование полученных сигналов и соответствующей величины сигналов, обозначенных на (рисунок 1.18), соответственно ( $S_i$ ) и ( $S_{i0}$ ). Формируют один сигнал, соответствующий эталонному изображению, в виде функции ( $F$ ).

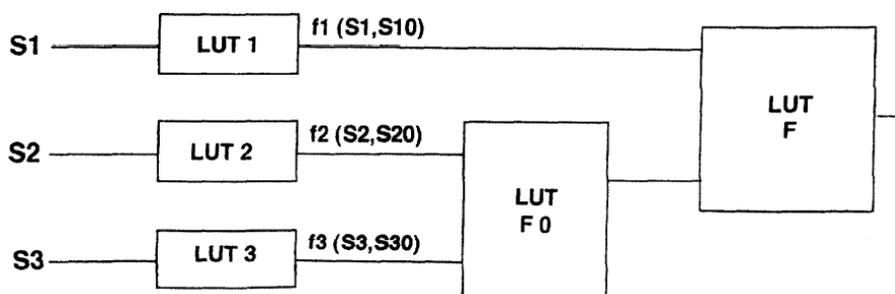


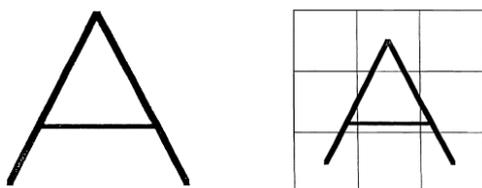
Рисунок 1.18 – Представление функции ( $F$ )

Для определения функции ( $F$ ) используемые три цветовых канала: красный ( $S_1$ ), зеленый ( $S_2$ ), синий ( $S_3$ ) посылают свои сигналы в устройство, в которое по специальным линиям связи предварительно вводятся соответствующие коэффициенты  $K_1, K_{10}, K_2, K_{20}, K_3, K_{30}$ .

В работе [43] отражена система, в которой обязательно необходима перед измерением цвета балансировки. Она включает: источник освещения измеряемого объекта, узел формирования изображения объекта, блоки считывания цвета, преобразования, обработки сигналов, получения и отображения выходных данных.

Оптическая система [44] с приемником света на три канала основных цветов основана на измерении относительно эталонов основных цветов. Её калибровка базируется на принципе электронного запоминания эталонов, при этом к измерительному окну эталонные образцы ставят поочередно.

В [45] предложен способ автоматического контроля качества печати на деформируемых материалах при помощи эластичного шаблона. Контроль изображения производят с использованием электронной камеры, заносят его в память (рисунок 1.19.1) с разделением на множество зон с наложением шаблона сетки. Путем сравнения с модифицированным шаблоном осуществляют контроль выбранного участка изображения (рисунок 1.19.2).

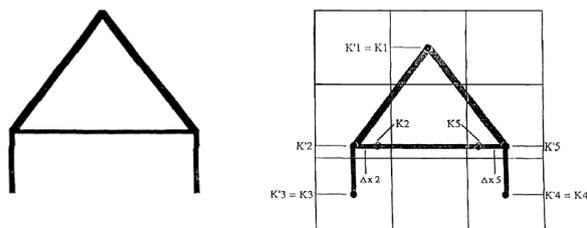


а)

б)

Рисунок 1.19.1 – а) исходное изображение на печатной форме

б) наложение сетки на изображение



а)

б)

Рисунок 1.19.2 – а) деформируемое изображение б) указание соответствующих смещений ( $\Delta x$ )

Этот способ более эффективен для цифровой печати, чем к классическим способам нанесения изображения на печатное изделие.

Авторами [46] разработано устройство автономного контроля и измерения цвета печатных листов, содержащее консоль с опорной поверхностью для размещения образца печатного листа; многоцелевой измерительный прибор, который содержит несколько датчиков, содержащих по меньшей мере одну камеру для выполнения снимков выбранных участков образца печатного листа и датчик для измерения цвета для выполнения спектрофотометрических, колориметрических и/или денситометрических измерений в выбранных местоположениях на образце печатного листа; дисплей для отображения изображений, снятых камерой, и измерений, выполненных датчиком для измерения цвета; и блок управления и обработки, соединенный с многоцелевым измерительным прибором и дисплеем (рисунок 1.20).

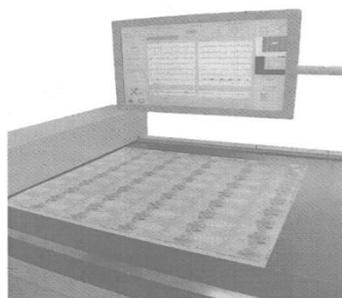


Рисунок 1.20 – Устройство автономного контроля и измерения цвета

Подход к интерпретации данных о цвете изображения, представленный в [47, 48], не смотря на значительное снижение искажений в ходе преобразования,

не дает полной информации об оценке цветового охвата системы воспроизведения.

Присутствие таких фактов, как неисправность устройств при отключении от источника питания, невозможность менять площадь анализируемой окрашенной поверхности, усложняет визуализацию и интерпретирование результатов измерений и.

Метод определения цветового различия по стандарту [48], как и методы, отраженные в [47, 49-53], основанные на спектрофотометрических и колориметрических измерениях, не являются совершенными. Это требует новых подходов, в том числе, к оптимизации функций программного обеспечения для измерительных устройств характеристик цвета, подтверждая своевременность их разработок.

## **1.6 Методы определения и контроля косины материала печатных изделий**

На качестве печатного изделия сказываются различные факторы, начиная от точности работы используемого оборудования, заканчивая характеристиками используемого материала для печатания.

Основные показатели качества бумаги невозможно изменить в условиях типографии, они закладываются еще на этапе производства, но поскольку многие типографии нарезают заданные форматы из рулонного материала непосредственно на предприятии, то и контроль косины листа они осуществляют самостоятельно, поэтому данную характеристику (листа) возможно изменить согласно нормируемым допускам. Исходя из приводимых определений косины листа в различных источниках:

- косина листа бумаги - дефект, характеризуемый отклонением формы листа бумаги от прямоугольной [54];
- косина листа бумаги - отклонение геометрической формы листа бумаги, оригинала, фотоформы, оттиска, обложки от прямоугольной [55];

– косина листа бумаги - отклонение формы листа бумаги (картона) от прямоугольной. ГОСТ 21102 97 [56], принято под этим термином понимать геометрическое отклонение формы листа от прямоугольной [55].

Косина листа материала (бумаги) оказывает влияние на весь процесс его прохождения в печатных секциях машины. Малейшее отклонение в системе передачи запечатываемого материала может привести к браку. Информационные источники по-разному трактуют геометрические нормы и допуски на косину. В [57] для бумаги рекомендован допуск до допустимой косины 0,2–0,3 мм, также указано, что косина не должна превышать 0,1% от размера листа вдоль реза. При обрезке печатного изделия с трех сторон косина изделия не должна превышать 0,3 мм. Большой перекося может привести к короблению бумаги, что приведет к неравномерному качеству печати. Согласно данным [58] степень косины не может превышать 0,5 мм на 10 см изделия, а перекося изображения на полосе не может быть  $\leq 1$  мм (рисунок 1.21).

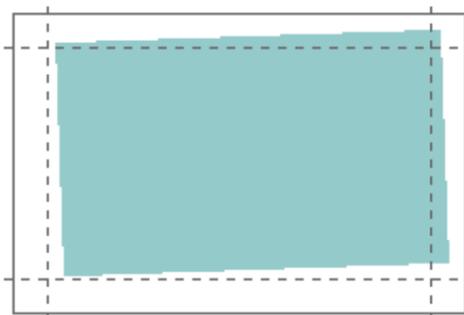


Рисунок 1.21 – Перекося изображения на полосе

Например, при косине листа подложки для печатного изделия выше допустимой величины 0,2 %, наносимое изображение не будет размещаться параллельно кромкам подложки, а его поля будут перекошены и существенно отличаться от допустимых.

От точности подачи листа в печатную секцию и зону печатного контакта, а также от отклонений листа от заданной геометрической формы (в данном случае формы прямоугольника) зависят одна из важнейших контролируемых характеристик – приводка, характеризующая правильное положение изображения

на запечатываемом материале, а также влияющая на совмещение красок при многокрасочной печати [59].

В научных работах зарубежных ученых индексируемых в Scopus [60-67], основное внимание уделяется эффективному обнаружению перекосов напечатанного изображения, а не оценке отклонения листа (печатного изделия) от прямоугольной формы, что подтверждает ее своевременность. Поскольку именно эта проблема является первостепенной причиной возможного перекоса изображения.

В [60] авторами предложено решать данную проблему с использованием процедур коррекции перекоса, которая определяет угол перекоса на странице строк текста. Согласно [61-64] перекося обнаруживается путем минимизации площади параллельной оси ограничивающей рамки. В [65] предложен алгоритм, который зависит от итерации с углом. Чтобы определить угол перекоса, профиль проекции применяется к повернутому изображению с несколькими углами. Угол, соответствующий более высокому пику, считается углом перекоса. Ахтер и др [66] предложил использовать нейронные сети для прямого прогнозирования углов поворота и оценку перекоса проблемного документа рассматривать как задачу классификации с различными классами, каждый из которых соответствует определенному углу. В [67] отмечается, что существующие методы обнаружения перекосов либо имеют низкую точность, либо требуют большого объема вычислений. Чтобы достичь хорошего компромисса между эффективностью и производительностью, предлагается новый подход к обнаружению асимметрии, основанный на ограничивающих прямоугольниках, вероятностной модели и тесте Q Диксона.

Следует заметить, что представленные в работах [60-67] подходы к оценке перекоса изображения на полосе, не смотря на достигнутые положительные результаты, показаны только по отношению к удержанию прямолинейности линии строки текста на запечатываемой полосе.

В РФ изначально характеристика косина листа, согласно [68] и ранее действующему ГОСТ 21102-80 [69], рассчитывалась как абсолютная косина с

учетом разности длин диагоналей и формата листа – номинальных размеров большей и меньшей сторон (в мм) и относительная косина, определяемая через отношение абсолютной косины к большей стороне листа. Затем этот стандарт был заменен на ГОСТ 21102-97, в котором рекомендовано для определения указанной характеристики два метода. По первому методу косину листа бумаги определяют с учетом разности длин диагоналей с представлением результата целым числом. Второй метод, представленный в [56], основанный на принципе совпадения двух вершин, относящиеся к одной стороне листа, при его складывании, которому также не свойственна высокая точность определения отклонения от заданной геометрической формы (рисунок 1.22).

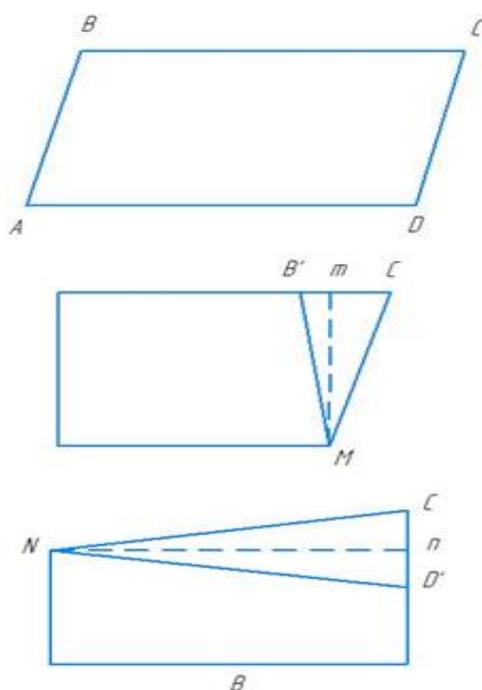


Рисунок 1.22 – Определение абсолютной косины листа бумаги по методу [56]

В случае несовпадения двух других углов делается вывод о возможной косине листа. Расстояния, необходимые для расчета абсолютной и относительной косины листа (линейные размеры), измеряются с помощью металлической линейки или металлической рулетки с точностью до 1 мм.

Анализ по данной теме научно-технических трудов, в том числе включая патенты, показал, что на практике, наряду с рассмотренными методами,

используется стандартизированный метод для определения косины листа материала печатных изделий [56], введенный 2001-07-01.

В нормативной документации [56] описан метод определения косины листа бумаги. Описанный метод заключается в измерении длин диагоналей листа и определении косины путем расчёта по приведенным формулам. Этот же метод приведен в нормативных документах ранее [69], однако выведенные формулы являются более широкими и сложными.

$$K_{abc} = (c - d) \sqrt{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

где  $c, d$  – диагонали листа, мм;

$a$  – номинальный размер большей стороны, мм;

$b$  – номинальный размер меньшей стороны, мм;

Далее в обновленной версии [56] расчетная формула абсолютной косины листа была сокращена до разности диагоналей. Измерения в соответствии с нормативным документом проводят с помощью металлической линейки или металлической рулетки.

В [56] также представлен метод, сущность которого заключается в складывании листа так, чтобы 2 вершины, относящиеся к одной стороне листа, совпали, а в случае несовпадения двух других углов делается вывод о возможной косине листа. Расстояния, необходимые для расчета абсолютной и относительной косины листа, измеряются с помощью металлической линейки или металлической рулетки.

Однако в настоящее время указанные методы не отвечает требуемой точности определения к прямоугольности печатных изделий.

Согласно п.10.2.2 [70] значения, определяемые с помощью металлической линейки или металлической рулетки представляют целыми числами. Однако ниже в пункте 10.2.5 приводятся погрешности определения в зависимости от длины диагоналей изучаемого листа от 1,2 мм до 1.6 мм, что не соответствует целым числам, а значит, что при измерении линейкой такая точность не может быть

достигнута. При нахождении абсолютной косины листа как разности длин его диагоналей в соответствии с п. 10.2.2 можно получить только целое значение, а это значит, что расчет не будет соотноситься с приведенными погрешностями.

Точность определения косины листа напрямую зависит от погрешности измерительного инструмента, в случае определения косины листа с помощью металлической линейки, точность измерения снижается, т.к. в соответствии с [71] допускаются следующие отклонения (в зависимости от общей длины шкалы и началом и концом шкалы):

- при измерении диагоналей листа до 1 метра, при использовании измерительного инструмента 1000 мм, допустимые отклонения составляют  $\pm 0,2$  мм, что составляет  $\sim 17\%$  от абсолютной погрешности косины листа (1,2мм);

- при измерении диагоналей листа свыше 1 метра до 2 метров, при использовании измерительного инструмента от 1000 мм до 2000 мм, допустимые отклонения составляют от  $\pm 0,25$  мм до  $\pm 0,30$  мм, что составляет примерно от 17% до 21% от абсолютной погрешности косины листа (1,4мм).

Требование, которое предъявляется при обрезке печатного изделия с трех сторон, указывает, что косина изделия не должна превышать 0,3 мм. Не следует исключать влияние оператора на результат измерения. Нормируемая точность на косину листового печатного изделия при обрезке до 0,5 мм [72]. Результат измерения рекомендуется представлять целыми числами, в соответствии с п.10.2.2 [56], но в результате анализа пункта 10.2.5 отмечаем, что приводятся погрешности определения в зависимости от длины диагоналей изучаемого листа от 1,2 мм до 1.6 мм. Такое противоречие не позволяет достигнуть объективного результата. Поэтому при нахождении абсолютной косины листа, как разности длин его диагоналей, результат не будет соотноситься с приведенными погрешностями.

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод о том, что с помощью металлической измерительной линейки практически невозможно добиться результата измерения, который будет соответствовать приведенным в [68] значениям абсолютной погрешности, следовательно, данный метод не обеспечивает заявленную точность.

Низкая точность определения косины листов запечатываемого материала и существенное влияние человеческого фактора, что не приемлемо в эпоху цифровой трансформации.

### **Выводы по главе 1**

1. Анализ, представленных в информационно-патентной базе научных трудов показал, что ассортимент нового поколения приборов и систем контроля характеристик печатного изображения изделий за последнее десятилетие значительно увеличился и отличается функциями встроенных микропроцессорных устройств их определения и расчета; отмечено, что в этом секторе существенно доминирует доля импортного контрольно-измерительных систем и приборов.

2. Выделены субъективные и объективные критерии оценки качества материалов и печатных изделий; показано, что стандартизированные методы контроля характеристик материалов и самих печатных изделий требуют пересмотра и совершенствования в соответствие с текущим уровнем развития техники и технологий.

3. Отсутствие единого мнения о количественной оценке распределения красочного слоя на различных материалах для контроля красковосприятости, характеристик краскопереноса, включая «пыление» краски подтверждает необходимость разработки перспективных методов на основе моделирования. С практической точки зрения это позволит снизить погрешность оценки контролируемой характеристики и повысить точность передачи элементов изображения на печатном изделии, исключить их потерю, минимизировать вредное влияние «пыления» краски на здоровье работающего персонала.

4. Задачи повышения точности, коррекции погрешности, обработки измерительной информации могут быть успешно решены за счет совершенствования программного обеспечения устройств (приборов, систем) контроля и их автоматизации, а также создания новых устройств.

## 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАСКОВОСПРИЯТИЯ МАТЕРИАЛА И КРАСКОПЕРЕНОСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНОГО ИЗДЕЛИЯ

### 2.1 Разработка метода определения красковосприятости материала

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 красковосприятости основан на измерении оптической плотности красочного оттиска (ГОСТ 24356-80). По ГОСТ 24356-80 «Бумага. Определение печатных свойств» количественной характеристикой красковосприятости служит критическая толщина слоя краски на форме  $S$ , соответствующая оптимальному значению величины оптической плотности оттиска  $D_{omm}$ . В процессе контроля указанной характеристики рассчитывают среднее значение оптической плотности оттиска  $D'_{omm}$  из трех параллельных определений, используя номограмму, рекомендуемую стандартом (рисунок 2.1).

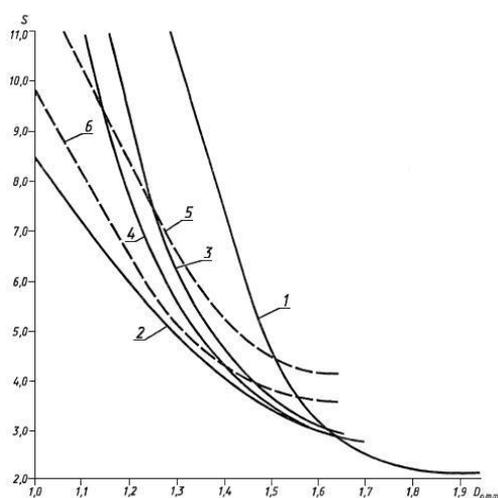


Рисунок 2.1 – Номограмма для определения красковосприятости бумаги (ГОСТ 24356-80)

К недостаткам метода следует отнести 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). Для методов, представленных за последние 10 лет в научных трудах [73, 74], свойственно принадлежность только к одному виду материала, влияние многих переменных, сведения о которых отсутствуют в документации.

В работе разработан метод, который позволяет контролировать красковосприятие на материалах печатного изделия с различной фактурой поверхности, не зависит от времени полного высыхания красочного слоя.

Отличительная особенность разработанного метода определения для контроля красковосприятия материала печатного изделия заключается в том, что расчеты контролируемых характеристик осуществляются в автоматизированном режиме с помощью запатентованного программного обеспечения с выводом контролируемого показателя визуализацией распределения краски на материале (рисунок 2.2) на экране монитора, сохранением результата, что значительно сокращает время контроля; исключает зависимость результата от точности его считывания с номограммы, рекомендуемой действующим стандартом.

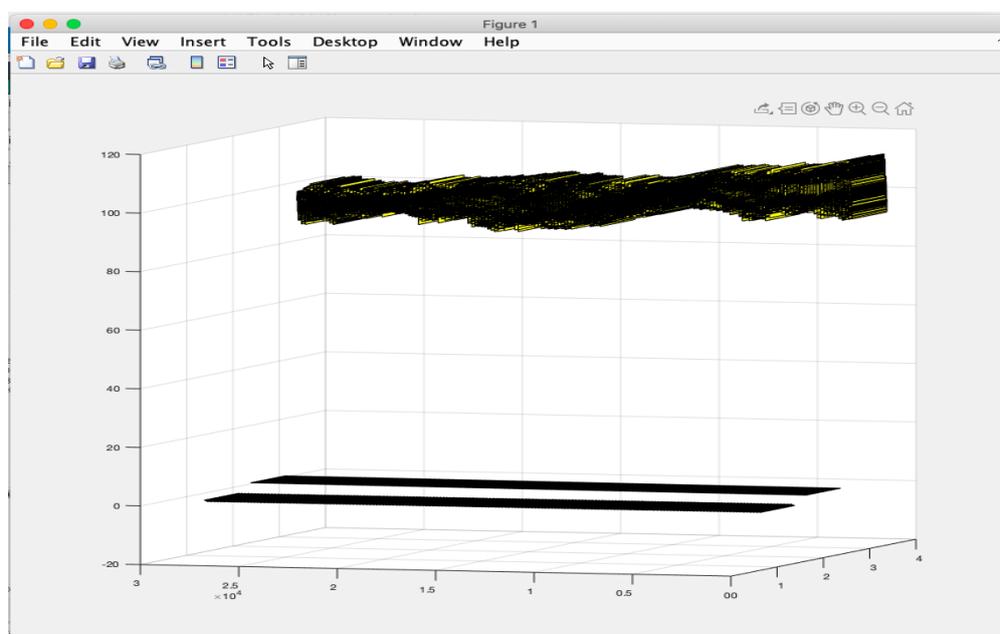


Рисунок 2.2. – Компьютерная интерпретация красочного слоя

Разработанная программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- Загрузка исходных данных из файла.
- Определение отклонения толщины красочного слоя на оттиске от номинальной поверхности;
- Расчет и контроль в автоматизированном режиме показателей, характеризующих красковосприятие в печатной системе с учетом геометрических характеристик ее компонентов.

Требования к аппаратному обеспечению: процессор совместимый с архитектурой Intel, AMDx86 или x64 и тактовой частотой не ниже 1 ГГц, 52 МБ свободного места, оперативная память не менее 512 МБ. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК Язык: C# (с sharp), matlab, ОС: Microsoft Vista, 7, 10.

Для аналитического представления профиля материала (красочного покрытия) и оценки его характеристик также разработано программное обеспечение с использованием языка программирования Visual C# [75].

Последовательность действий заключается в следующем:

- считывание характеристик профиля поверхности красочного слоя на запечатываемом материале с помощью оптических датчиков; загрузка исходных данных из файла;
- расчёт характеристики красковосприятости материала печатного изделия с применением разработанной программы для ЭВМ.

Рассмотрим реализацию предложенного метода для определения красковосприятости на примере полного совпадения тест-отпечатков при трехцветной печати. Оценка красковосприятости тест-точки состоит из двух слагаемых:

$$M = M_1 + M_2,$$

где  $M_1$  – оценка количества краски на поверхности тест-точки с учетом деформации поверхностного слоя бумаги,  $M_2$  – оценка количества краски, проникшей во внутренние слои бумаги.

Для получения оценки  $M_1$  при трехцветной печати используется универсальный подход, состоящий в аппроксимации количества ( $M_1$ ) краски на поверхности образца некоторой линейной функцией двух переменных. Универсальность подхода состоит в том, что он может быть использован для любой из позиций  $P_i$ .

Оценку  $M_1$  можно найти по формуле

$$M_1 = \iint_D \rho(x, y) dx dy, \quad (2.1)$$

где  $\rho(x, y)$  – поверхностная плотность массы красок, которая прямо пропорционально зависит от толщины  $z(x, y)$  красочного слоя в точке  $(x, y)$ , а также от удельных плотностей красок,

$$\rho(x, y) = \left(\sum_1^s \rho_j\right) z(x, y), \quad (2.2)$$

$D$  – область интегрирования (запечатанная микроточка),  $s$  – количество красок, участвующих в данном отпечатке.

Для получения оценки в первом приближении аппроксимируем толщину красочного слоя  $z(x, y)$  в области  $D$  линейной функции двух переменных  $x$  и  $y$

$$z(x, y) = ax + by + c, \quad (2.3)$$

что с геометрической точки зрения соответствует замене реального рельефа запечатанной точки некоторой плоскостью (рисунок 2.3).

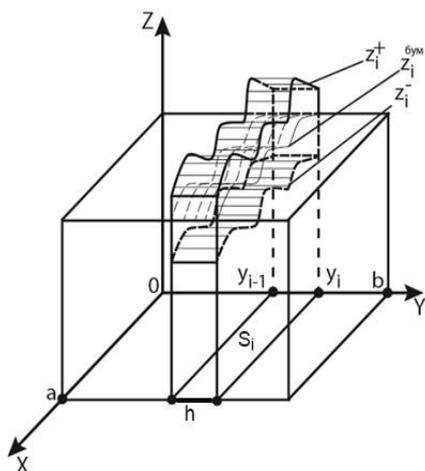


Рисунок 2.3 – Распределение краски в структуре подложки печатного изделия

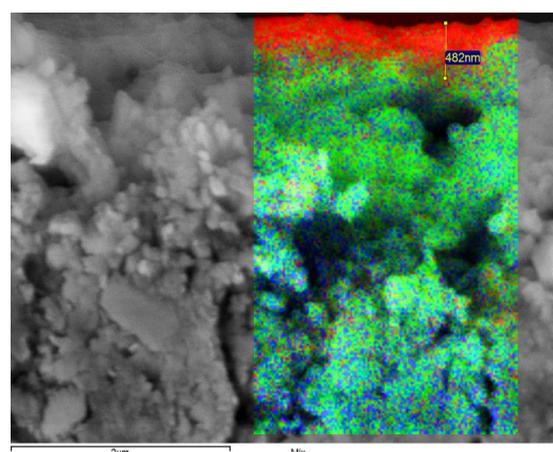


Рисунок 2.4 – Определение краски в структуре подложки изделия методом сканирующей электронной микроскопии

С помощью метода наименьших квадратов по результатам измерений находятся оптимальные значения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , обеспечивающие минимум суммы квадратов отклонений  $S(a, b, c)$  наблюдаемых значений  $z_i$  от значений, вычисленных по формуле (2.3).

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i + c - z_i)^2.$$

Решив соответствующую систему линейных алгебраических уравнений относительно параметров  $a, b, c$

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i y_i + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i y_i + b \sum_{i=1}^n y_i^2 + c \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n y_i z_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n y_i + cn = \sum_{i=1}^n z_i \end{cases}$$

получим уравнение аппроксимирующей поверхности

$$z(x, y) = a_0 x + b_0 y + c_0,$$

где  $a_0, b_0, c_0$  – оптимальные значения параметров  $a, b, c$ .

Считая запечатанную тест-точку элементарной областью, зададим верхнюю  $f_2(x)$  и нижнюю  $f_1(x)$  части ее границы в виде многочленов Фурье, используя результаты измерений. Тогда оценку красковосприятия на поверхности материала получим по формуле

$$M_1 = \int_c^d dx \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} \left( \sum_1^s \rho_j \right) (a_0 x + b_0 y + c_0) dy.$$

Оценку  $M_2$  найдем как произведение известного табулированного значения средней глубины  $q$  проникновения краски во внутренние слои бумаги на площадь  $S$  запечатанной микроточки, которую также находят с помощью методов математического и гармонического анализа:

$$M_2 = \left( \sum_1^s \rho_j \right) qS.$$

Результаты апробации разработанного метода определения красковосприятия [76] (см. Приложение 1) материала печатного изделия представлены в таблице 2.1.

Полученные данные адекватны данным измерения, полученным с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2.4, таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Результаты определения красковосприятости материала

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	0,0891	0,0741 < m < 0,0841	0,0805
4	2,310	0,0698	0,0583 < m < 0,0695	0,0662
5	2,280	0,0718	0,0566 < m < 0,0670	0,0646

Анализ, полученных результатов, показал, что разработанный метод с более высокой вероятностью, по сравнению с ГОСТ 24356-80, позволяет определить контролируемую характеристику за счет исключения субъективного фактора и ошибок, связанных с переносом координаты на номограмму.

## **2.2 Общая характеристика компонентов печатной системы, их влияние на показатели контроля изделия**

Появление новых высокоинформативных технологий, включая цифровые и информационные, привело к значительному сокращению сроков изготовления заказов и трудоемкости процесса. Изменение технологии влечет за собой перемены и в производстве основных компонентов печатной системы (ОКПС) для изготовления печатных изделий, в том числе полиграфической и упаковочной продукции, повышение требований к ним. Это, в свою очередь, кардинально меняет техническую и технологическую составляющие процесса изготовления конечного продукта в виде печатного изделия, методов контроля его качества и управление этим процессом.

Особенности печатного процесса обуславливают требования, предъявляемые к запечатываемому материалу, как к одному из ОКПС. В числе лидеров среди способов печати на бумажных листовых материалах по-прежнему плоская офсетная печать. Выявлению факторов, в том числе единичных из ОКПС,

которые оказывают существенное влияние на процесс печати и его управление, посвящено значительное количество научных разработок в мировом сообществе.

Зарубежные исследователи [77] акцентируют внимание на наличие не прямой зависимости между результатами определения показателей качества печати стандартными методами и лабораторными с применением современных пробопечатных устройств.

Согласно [78, 79], качество печати напрямую зависит от показателя неоднородности ее структуры материала и «облачности».

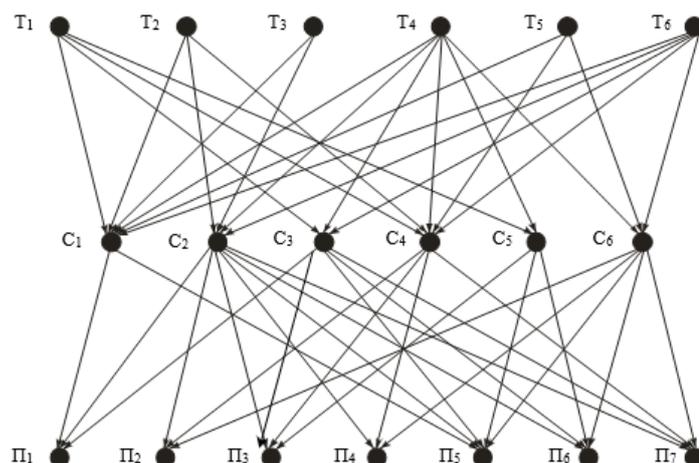
Авторы работ [80-85] связали качество конечного продукта – печатного оттиска и бумаги. Согласно исследованиям [83-86], представлен граф (рисунок 2.5), который показывает их непосредственную прямую или косвенную взаимосвязь.

Например, изменение снижение линейной деформации при увлажнении ( $C_1$ ) и, как следствие, риска получения несовмещения красок в процессе многокрасочной печати ( $\Pi_1$ ) может быть обусловлено изменением режимов размола бумажной массы ( $T_2$ ) (рисунок 2.5).

Известен факт, что подсистемы машинной графики и геометрического моделирования при проектировании различных изделий, в том числе и печатных, занимают в настоящее время одно из ведущих мест. Такие модели отображают не только геометрические характеристики, но и форму изделия или детали, особенности их соединений.

Ведущие зарубежные фирмы отдают предпочтение иерархическому принципу автоматизированных систем контроля и управления печатным процессом.

Разработку алгоритма автоматизированного подбора компонентов печатной системы, прогнозирования и контроля показателей качества печатного процесса при производстве печатных изделий с учетом назначения и производства печатных изделий необходимо построить в следующей последовательности.



Показатели качества бумаги:  $T_1$  – композиционный состав;  $T_2$  – степень помола;  $T_3$  – средневзвешенная длина волокна;  $T_4$  – наполнитель;  $T_5$  – проклейка в массе;  $T_6$  – поверхностная проклейка.

Показатели, оценивающие свойства бумаги:  $C_1$  – линейная деформация при увлажнении;  $C_2$  – гладкость;  $C_3$  – впитываемость при одностороннем смачивании (по Коббу);  $C_4$  – степень проклейки;  $C_5$  – белизна;  $C_6$  – зольность.

Показатели качества печатного процесса  $\Pi_1$  – совмещение при печати;  $\Pi_2$  – стойкость поверхности к выщипыванию;  $\Pi_3$  – контрастность печати;  $\Pi_4$  – скольжение;  $\Pi_5$  – разрешающая способность бумаги;  $\Pi_6$  – выделяющая способность поверхности бумаги;  $\Pi_7$  – красковосприятие.

Рисунок 2.5 – Граф совместного влияния различных факторов на поведение материала в печатном процессе

На начальном уровне закладывается непосредственное управление печатной машиной с учетом реальной технологической ситуации. Осуществляется выбор границ по подбору ОКПС в зависимости от класса печатного изделия, его назначения (категории потребителей), формата издания, красочности и других категорий, определяющих технологию печатного процесса.

Далее на всех последующих уровнях – программирование печатного процесса и регулировка его параметров.

Разработка автоматизированной системы подбора ОКПС базируется на основе уже ранее достигнутых результатах:

– достижений в оценке количественного распределения краски в поверхностных и объемных слоях бумаги [87-90];

– метода определения коэффициентов краскопереноса в печатной системе, учитывающего деформацию бумаги [91-94]. Он позволяет провести автоматизированный расчет краскопереноса, но с учетом ограниченного числа факторов. В этой связи при разработке новой системы не менее актуален учет отклонений от формы и расположения поверхностей всех компонентов печатной системы, не учтенных в предложенном ранее решении, в частности узлов печатного аппарата;

– запатентованного способа подбора компонентов печатной системы [95], блок-схема которого представлена на рисунке 2.6, а также с учетом взаимосвязи новых факторов, в том числе учете влияния отклонений от геометрических характеристик и биением.



Рисунок 2.6 – Блок-схема процесса для достижения оптимальной цветопередачи [95]

В [95] отмечается, что определение цветовых характеристик многокрасочного печатного изделия в различных комбинациях компонентов печатной системы осуществляется на основе сравнения с эталонным образцом до совпадения в пределах допустимых отклонений при их тестировании.

Практика реализации данного изобретения в условиях реального полиграфического производства для процесса оптимальной цветопередачи и его управления показала положительные результаты, но и выявила существующие

ограничения. Вывод о правильности подбора ОКПС основывается только по одному единичному показателю – объему тела цветового охвата. Показатели краскопереноса и красковосприятия носителя информации не определяются и не контролируются. Не контролируется отклонение от допуска на смещение красок при многокрасочной печати, отклонение от допуска наравномерность красочного слоя. На основании выше изложенного следует, что совершенствование метода контроля показателей краскопереноса с учетом влияния различных случайных факторов в процессе получения печатного изображения не утратило свою актуальность и своевременно.

### **2.3 Метрологическое обеспечение точности геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата**

В п.1.4 отмечено, что исследование влияния геометрических параметров печатной пары, а также шероховатости ее поверхности на качество оттисков и на «пыление» остается актуальной задачей. Точность размеров, точность геометрической формы и относительного положения поверхностей – это основные показатели при оценке качества изделия. Двухмерные комплексные величины имеют два действительных граничных значения (размер максимума материала и размер минимума материала элемента) [97-103]. Они выполняют назначение базовых и исполнительных поверхностей. Оценка комплексного размера с расширенным допуском целесообразна, если размерный элемент имеет отклонения, входящие в допуск элементного размера. Точность позиционного положения характеризуют линейные и угловые координирующие размеры. Имеет место факт, основанный на информационно-аналитическом анализе, заключающийся в том, что задача нормирования точности геометрических характеристик любой детали до сих пор не имеет полного решения, на это указывается в [104].

Алгоритм построения и визуализации геометрической модели цилиндра узла печатного аппарата в печатной системе для определения его отклонений приведен на рисунке 2.7.

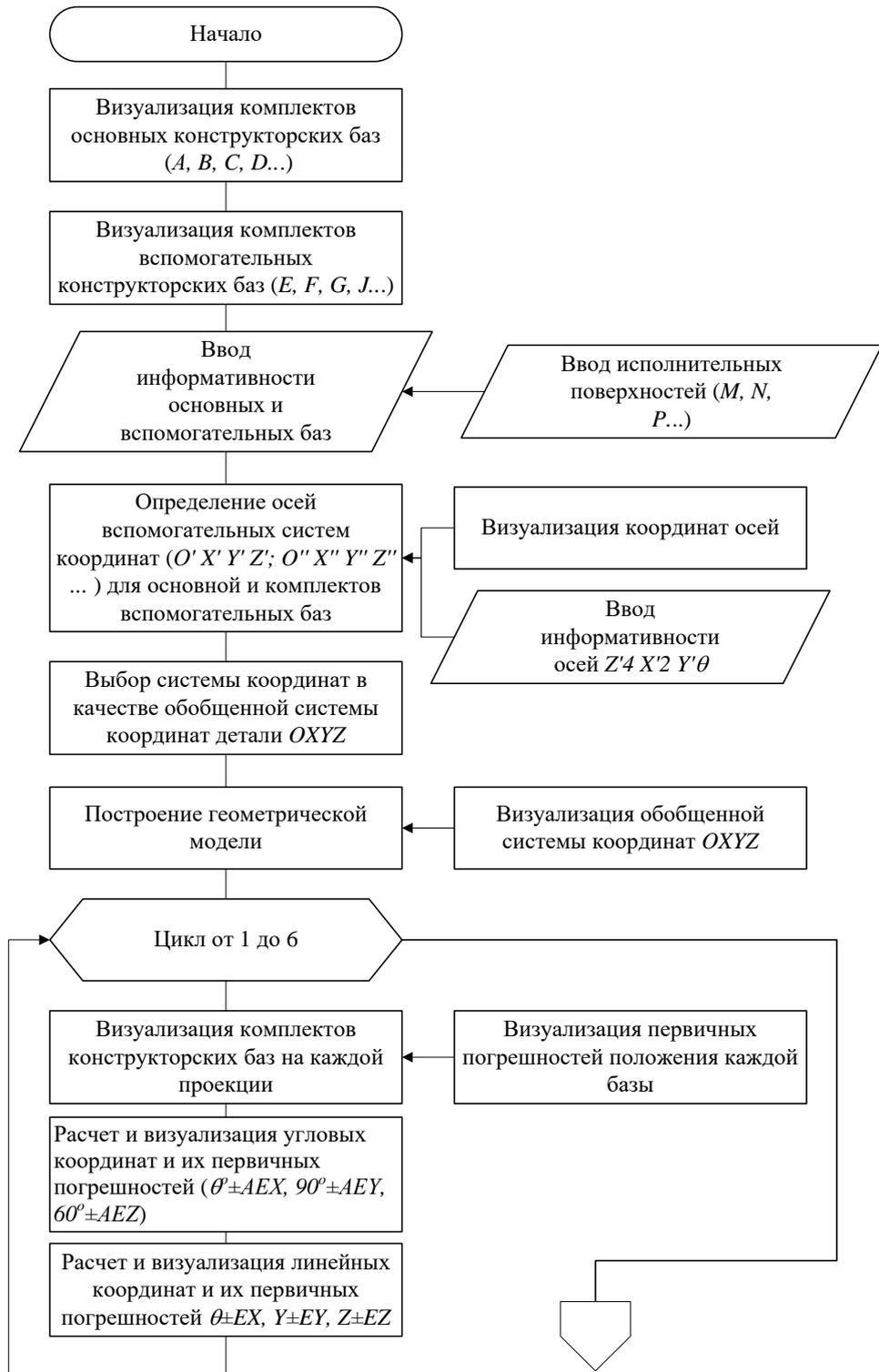


Рисунок 2.7 – (Начало) Алгоритм построения и визуализации геометрической модели цилиндра

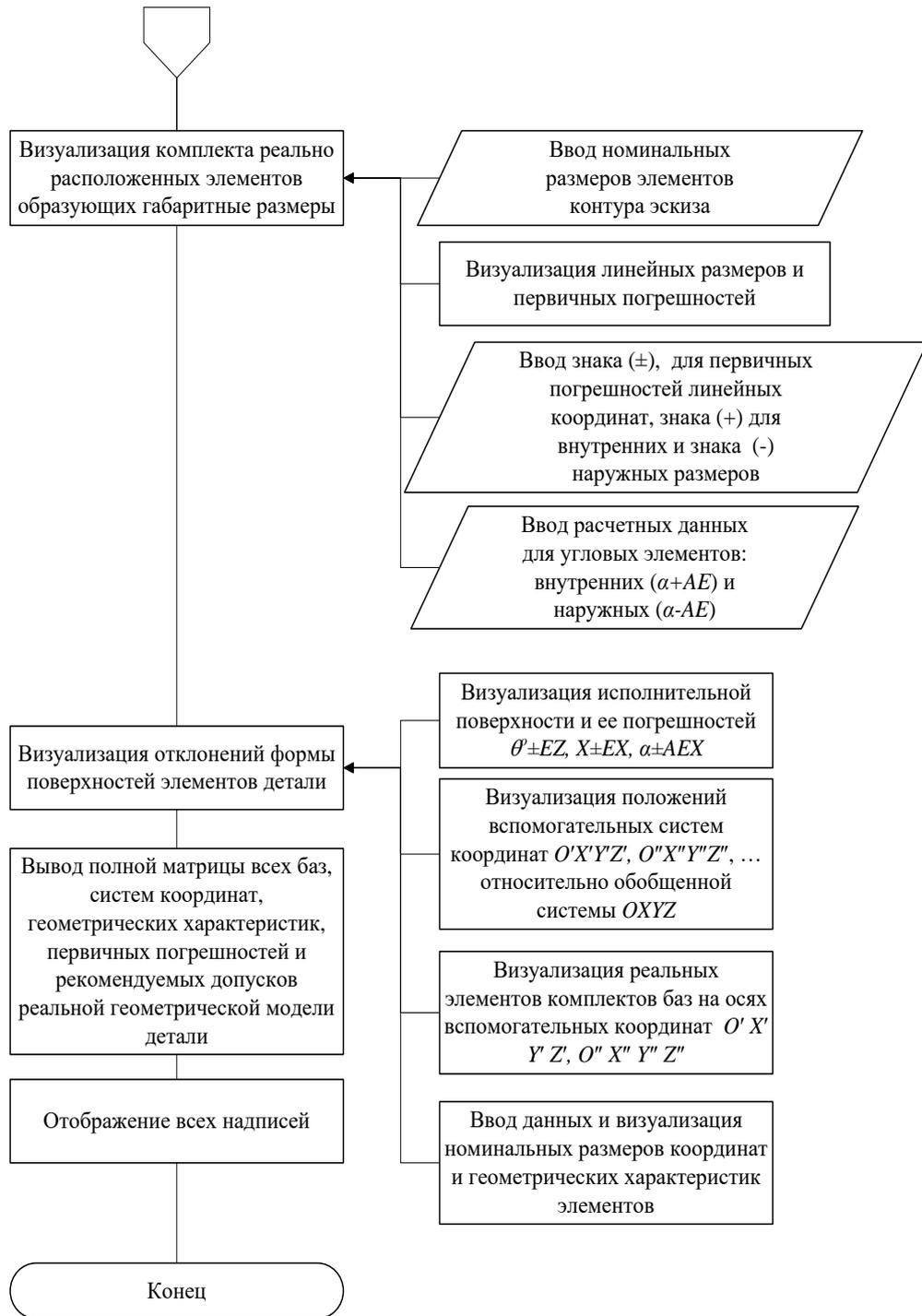


Рисунок 2.7 – (Окончание) Алгоритм построения и визуализации геометрической модели цилиндра

В предложенном решении геометрическая модель конкретной детали или составной части узла печатного аппарата представляется в обобщенной системе координат с отображением отклонений от формы и расположения поверхностей [105-107]. Система отсчета размеров, в составе которой рассматривается элемент детали, представляет систему координат комплекта элементов.

Построение геометрической модели основано на модульном принципе со следующими допущениями:

1. известно возможное число степеней свободы, лишаемое отдельным элементом;
2. информативность комплекта баз материализует систему координат с различной информативностью координатных плоскостей 3, 2, 1 и осей координат 4, 2, 0 (ноль).

Алгоритм содержит:

– Модуль ввода информативности основных и вспомогательных баз. В функции этого модуля входит определение осей вспомогательных систем координат для основной и комплектов вспомогательных баз, выбор системы координат в качестве обобщенной системы координат детали

– Модуль построение геометрической модели. В одной – трех проекциях контурного эскиза, образованной комплектом основных конструкторских баз, совместно ограничивающих деталь в изделии, формируется геометрическая модель. На начальном этапе ее построения наносят изображение обобщенной системы координат OXYZ.

– Модуль визуализация первичных погрешностей.

В этом модуле для каждой базы осуществляется следующее:

- ввод номинальных размеров элементов контура;
- расчет угловых координат;
- расчет первичных погрешностей.

Количество первичных погрешностей положения каждой основной базы и вид координат определяются числом и видом движений, не израсходованных рассматриваемой базой на образование обобщенной системы координат. Погрешности положения угловых координирующих размеров отсчитываются только от осей координат с информативностью 4 и 2. Обозначаются на проекциях, перпендикулярных осям поворота.

– Модуль расчета и визуализации линейных размеров и первичных погрешностей.

Погрешности положения и линейные координирующие размеры отсчитываются вдоль соответствующих осей координат (вместе с номинальными значениями координат), включая нулевые значения. Учитываются знаки:

- ( $\pm$ ) первичной погрешности линейных координат;
- (+) для внутренних и (–) соответственно для наружных размеров.

– Операции ввода, компьютерного представления номинальных размеров координат, геометрических размеров элементов, отклонений формы поверхностей элементов в виде основных волнистых линий, выполняет модуль визуализации комплекта реально расположенных элементов.

– Модуль вывода итоговых данных (матрицы всех баз, систем координат, геометрических характеристик, погрешностей, допусков и т.д).

Примером реализации разработанного алгоритма является, представленная на рисунке 2.8 геометрическая модель контактирующей поверхности цилиндра печатного аппарата в зоне печатного контакта. Определяется:

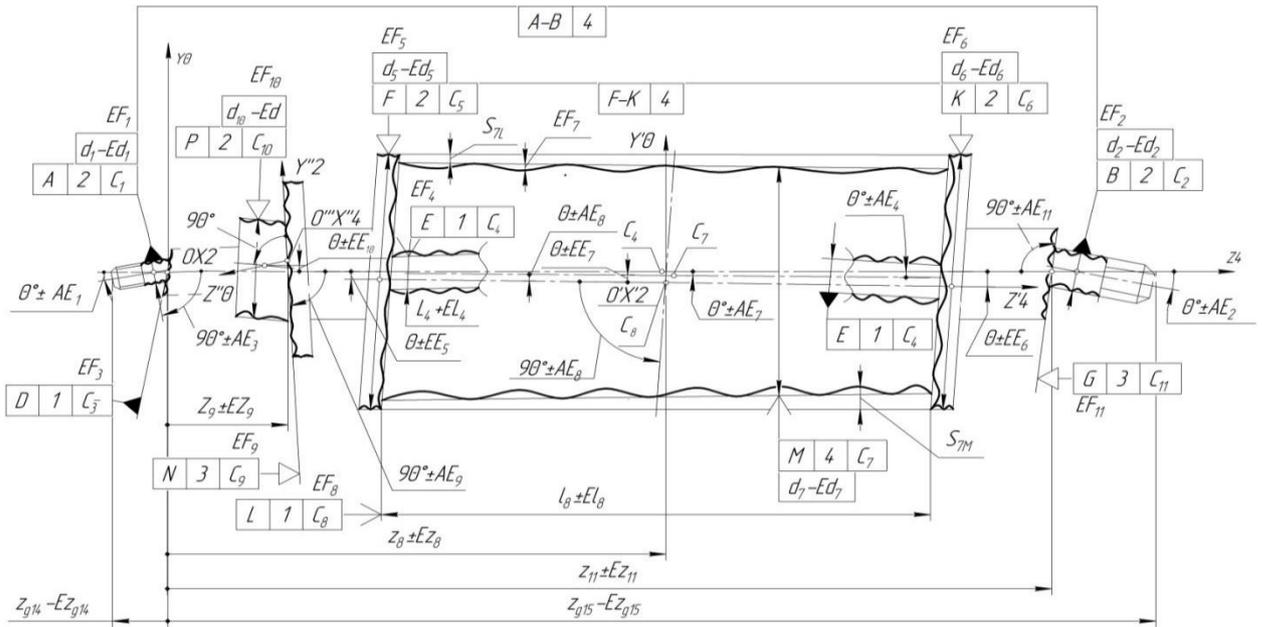
– Количество координат элемента во вспомогательной системе как разность между максимальной и фактической информативностью элемента.

– Количество координат каждой базы максимальной информативностью базы. Она складывается из координат вспомогательной системы в обобщенной системе детали и координат во вспомогательной системе.

– Количество координат элемента в обобщенной системе (равно фактической информативности элемента).

По виду – линейная или угловая – совпадает со степенями свободы, потраченными элементом на образование вспомогательной системы

Для каждой координаты, в том числе с нулевым номинальным значением, свойственно отклонение положения элементов. Исходя из того, что отсутствует система допусков на координирующие размеры, точность нормируются следующими допусками: расположения, линейных и угловых размеров.



$OX_2Y_0Z_4$  – обобщенная система координат комплекта основных баз А2–Б2Д1Е1;  
 $O'X''_4Y''_2Z''_0$  – вспомогательные системы координат комплект исполнительных поверхностей F2–K2M4L1E1 и вспомогательных баз N3P2E1;

- ▶  $\boxed{A \ 2 \ C_1}$  – основная конструкторская база А с информативностью 2 и центром  $C_1$ ;
- ◀  $\boxed{P \ 2 \ C_{10}}$  – вспомогательная конструкторская база Р с информативностью 2 и центром  $C_{10}$ ;
- ◀  $\boxed{M \ 4 \ C_7}$  – исполнительная поверхность М с информативностью 4 и центром  $C_7$ ;

$Z_9 \pm EZ_9$  – линейная координата центра  $C_9$  элемента плоской базы N3;

$\theta \pm EE_8$  – линейные координаты центра  $C_8$  элемента ( эксцентриситет  $EE_8$  ) по осям  $X_2$  и  $Y_0$ ;

$90^\circ \pm AE_{10}, \theta \pm AE_7$  – угловые координаты осей элементов;

$d_1 - Ed_1, L_4 + EL_4$  – размеры наружных и внутренних элементов с первичными погрешностями;

$EF_7$  – отклонения формы поверхностей рабочих элементов вала;

$S_{7M}, S_{7L}$  – наибольший и наименьший зазоры между поверхностями вспомогательных баз F2–K2 и исполнительной поверхностью М.

Рисунок 2.8 – Геометрическая модель контактирующей поверхности цилиндра печатного аппарата в зоне печатного контакта

Зафиксированные значения отклонений от формы для цилиндров печатного аппарата, занесенные в блок базы данных, далее используются при расчете показателей краскопереноса при подборе ОКПС.

В Приложении 2 представлен шаблон матрицы, в которую заносятся геометрические характеристики, а также примечания и предложения.

## **2.4 Контроль характеристик краскопереноса с учетом влияния осевой вибрации цилиндров печатного аппарата**

При подборе ОКПС взаимодействие печатной краски со структурой материала в процессе ее переноса оказывает непосредственное влияние, как на динамические характеристики, так и на поведение самой краски как вязкой несжимаемой жидкости [92]. Отмечается, что существует по-прежнему много проблем в разработке, прежде всего, с точки зрения точности и стабильности процесса.

Известны различные математические модели узла системы, позволяющие определить изменение показателей, описывающих процесс переноса вязкой несжимаемой жидкости с поверхности, переносящей жидкость на поверхность ее воспринимающую [108]. При подборе ОКПС необходимо учитывать тот факт, что вибрации офсетных печатных машин являются серьезной проблемой, которая вызывает много трудностей и решение которой до сих пор актуально.

По мнению Раскина А.Н. [109], среди многих источников вибрации в печатных машинах приоритет остается за цилиндрами печатного аппарата. Блок офсетного печатного аппарата состоит из трех основных цилиндров, два из них в прямом контакте генерируют нежелательные вибрации. Эти вибрации являются причиной такого дефекта на оттиске как неравномерность оптической плотности.

Измерения колебаний цилиндров на реальной печатной машине были представлены в работе [110]. Авторы [111] акцент делают на изучение проблемы контакта с большой деформацией, используя метод конечных элементов. Было выполнено компьютерное моделирование поведения печатного блока. Модель описывается системой двух параметрических дифференциальных уравнений. Отмечается, что в процессе подачи на цилиндре с резинотканевым полотном преобладает сжимаемость слоя.

В работах [112-115] представлены результаты подхода к определению показателей краскопереноса в печатной системе с использованием решения уравнений Навье–Стокса и конечно-разностных аппроксимаций. Следует отметить,

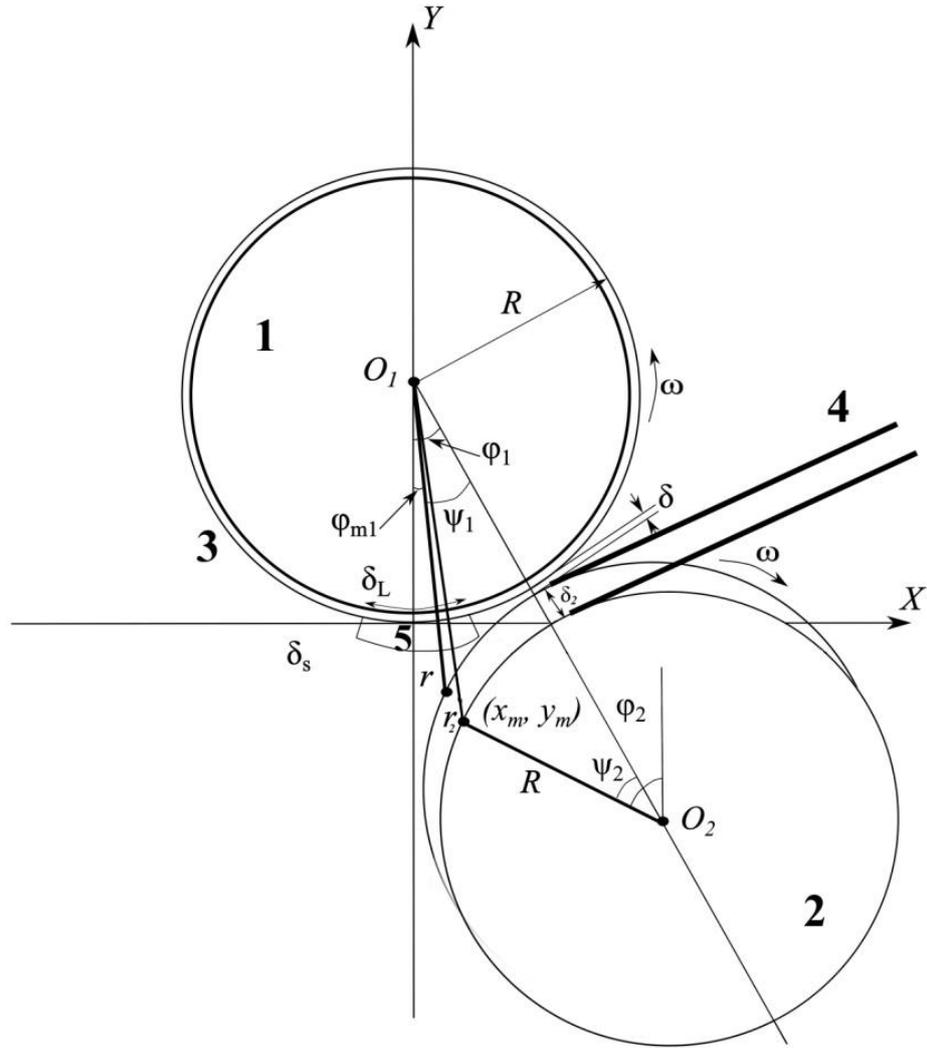
что геометрическая интерпретация предложенного решения дала возможность наглядно представить изменения в структуре красочного слоя, выявить их особенности. Однако число переменных факторов, влияющих на рассматриваемый процесс, в этих работах ограничено. Например, неверная установка подшипников или их положение являются причиной перекоса осей. Также деформация цилиндров является следствием одного из видов отклонения по геометрической форме.

Несмотря на положительные решения, полученные ранее, задача контроля и определение показателей, характеризующих краскоперенос в печатной системе с учетом осевой вибрации цилиндров и отклонения от геометрических характеристик узлов печатного аппарата, в них не отражена и до сих пор не имеет полного решения. Влияние указанных факторов весьма существенно на поведение ОКПС в зоне печатного контакта.

Для реализации вышеуказанной задачи рассматриваются область решения и уравнения Навье–Стокса в полярной системе координат с центром цилиндра 1 в точке  $O_1$  с переменными  $(r, \varphi)$ , детали области показаны на рисунке 2.9. Выбрана классическая схема построения офсетного печатного аппарата [93, 94, 105-107, 116-120].

Алгоритм численного моделирования, взятый за основу, для автоматизации расчета показателей краскопереноса (переноса вязкой несжимаемой жидкости) в зоне печатного контакта имеет следующую последовательность:

- Ввод исходных данных;
- Выполнение условия адгезии печатной краски по отношению к воспринимающим поверхностям;
- Расчет радиальных сил  $F_r$  и моментов сил  $M_\varphi$  для деформирующейся поверхности;



$(x_m, y_m), (x_c, y_c)$  – координаты данной точки и центра цилиндра 1 в декартовой системе координат  $OXY$ ;  $\varphi_0, \varphi_{m1}$  – начальное значение  $\theta$  для центра цилиндра 2 и текущее значение  $\theta$  точки;  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы от двух центров цилиндров между точкой цилиндра 2 и вертикальными направляющими в зависимости от времени и угловой скорости вращения;  $\varphi_{m0}$  – начальное значение  $\varphi_2$ ;  $\psi_1$  – угол от центра  $O_1$  между точкой окружности цилиндра 2 и отрезком, соединяющим центры цилиндров  $O_1$  и  $O_2$ ;  $\psi_2$  – угол соответствующей дуги во втором цилиндре.

Рисунок 2.9 – Фрагмент узла классического печатного аппарата офсетной печатной машины, в котором осуществляется перенос краски на носитель информации

Обязательным при определении касательных напряжений является условие проведения расчета с учетом дискретной сетки в окрестности узлов ( $N_i$ ) поверхности цилиндров 1 и 2 и их скоростей деформации по методу в [94].

Суммарные величины по всем граничным узлам поверхности цилиндра, соприкасающимися с краской, имеют вид:

$$F_r = \sum_{i=1}^{N_1} F_{ri} e_{ri}, \quad M_\varphi = \sum_{i=1}^{N_1} M_{\varphi i},$$

где,  $e_{ri}$  – единичный орт для  $i$ -го направления радиуса вектора около приграничного  $(i, j)$ -го узла расчетной сетки.

- Определение деформаций границ;
- Определение коэффициентов краскопереноса после перехода в сопутствующую систему координат с преобразованием  $\theta = \varphi - \omega t$ . В новых переменных  $(r, \theta)$  с компонентами скорости  $(U_r, U_\theta)$  и при наличии углового ускорения этой системы  $\varepsilon$  уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{\partial U_r}{\partial t} + U_r \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_\theta R}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \theta R} - \frac{(U_\theta + \omega r)^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left( \nabla^2 U_r - \frac{U_r}{r^2} - \frac{2R}{r^2} \frac{\partial U_\theta}{\partial \theta R} \right), \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_\theta}{\partial t} + U_r \frac{\partial U_\theta}{\partial r} + \frac{U_\theta R}{r} \frac{\partial U_\theta}{\partial \theta R} + \frac{U_r U_\theta}{r} + 2U_r \omega + \varepsilon r = \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{R}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta R} + \nu \left( \nabla^2 U_\theta - \frac{U_\theta}{r^2} + \frac{2R}{r^2} \frac{\partial U_r}{\partial \theta R} \right), \end{aligned}$$

$$\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_r}{r} + \frac{R}{r} \frac{\partial U_\theta}{\partial \theta R} = 0,$$

где  $\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{R^2}{r^2} \frac{\partial^2 U}{(\partial \theta R)^2}$  – оператор Лапласа,  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $\rho$  – плотность жидкости,  $P$  – давление,  $\omega$  – угловая скорость вращения.

Для представления результатов моделирования рассматриваемой системы в дальнейшем будет использоваться переход к другим координатам  $(x, y) = (R_0 \theta, R_0 - r)$ .

Предполагаем, что поверхности цилиндров 1 и 2 имеют искажения по радиусам в некоторых сегментах окружности и их радиусы можно представить в виде

$$R_1(\theta) = R_0 + \alpha_1 \theta + \beta_1 \theta^2 + \gamma_1, \quad \theta \in (\theta_1, \theta_2);$$

$$R_2(\theta) = R_0 + \alpha_2 \theta + \beta_2 \theta^2 + \gamma_2, \quad \theta \in (\theta_1, \theta_2),$$

$\theta_2$  – угол отчета поверхности цилиндра 2 с учетом того, что точка с  $\theta_2 = 0$  будет соприкасаться с началом координат при последующем контакте.

При условии, что  $t = 0$ , координаты  $(r, \theta)$  для области печатной краски  $\Omega$  в сопутствующей системе выбираются в пределах:  $r \in [R, R + \delta_S]; \theta \in [-\delta_L / (2R), \delta_L / (2R)]$ . Во всей области  $U_r(r, \theta) = 0; U_\theta(r, \theta) = 0$ .

Координаты начальной точки соприкосновения с цилиндром 2  $-(R_1 + \delta_S, \delta_L / (2R_0))$ . Для нее компоненты скорости определяются по формулам (2.5) из условий адгезии и впитывания краски:

$$\begin{aligned} V_\theta &= V_x \cos(\varphi_{m1}) + V_y \sin(\varphi_{m1}); \\ V_r &= V_x \sin(\varphi_{m1}) - V_y \cos(\varphi_{m1}), \end{aligned} \quad (2.5)$$

для которых

$$\begin{aligned} x_m &= x_c + (2R_0 + R_2 + \delta) \sin(\varphi_1) - r \sin(\varphi_2), \\ y_m &= y_c - (2R_0 + R_2 + \delta) \cos(\varphi_1) + r \cos(\varphi_2), \\ V_x &= -\omega(2R_0 + R_2 + \delta) \cos(\varphi_1) - 2\omega r \cos(\varphi_2) \\ V_y &= -\omega(2R_0 + R_2 + \delta) \sin(\varphi_1) + 2\omega r \sin(\varphi_2), \\ \varphi_1 &= \varphi_0 - \omega t, \quad \varphi_2 = \varphi_{m0} - 2\omega t \end{aligned}$$

Исходя из того, что движение центра цилиндра 2 вокруг цилиндра 1 осуществляется с угловой скоростью  $\omega$ , а вокруг своего центра – с  $2\omega$  в противоположном направлении. В сопутствующей системе координаты точек окружности радиуса  $R$  для цилиндра 2, центр которого  $O_2$  находится на расстоянии  $(2R_0 + R_2 + \delta)$  от  $O_1 - (r_2, \psi_1)$  и имеют вид:

$$r_2 = \sqrt{R_2^2 \sin^2 \psi_2 + (2R_0 + \delta - R_2 \cos \psi_2)^2}; \quad (2.6)$$

$\psi_1$

$$= \arcsin \left( \frac{\sin \psi_2}{\sqrt{1 + 4R_0^2/R_2^2 + \delta^2/R_2^2 + 4 \frac{R_0 + \delta}{R_2} - 2(2R_0 + \delta/R_2) \cos \psi_2}} \right) \quad (2.7)$$

В полярной системе координат  $(r, \theta)$  определяются координаты для точек  $(x_m, y_m)$  по углам  $\varphi_1, \varphi_2$  для изменяющихся их положений со временем.

Определяем  $\psi_2 = \varphi_2 - \varphi_1$ . Далее соответственно из (2.6) и (2.7) определяется  $r$  и  $\psi_1$ . Тогда  $\theta = \varphi_{m1} = \varphi_1 - \psi_1$  при условии, что радиусы цилиндров 1 и 2 будут равны.

Рассмотрим влияние вибраций осей цилиндров на примере вибрации оси цилиндра 2. Для этого будем рассматривать изменение расстояния между центрами цилиндров по времени с  $2R+\delta$  до  $2R+\delta_2$ , где  $\delta_2$  представим в виде осциллирования по следующему закону с амплитудой  $a$  и частотой  $\nu$ :

$$\delta_2 = \delta + a \cdot \sin(2\pi\nu t). \quad (2.8)$$

При изменении величины расстояния между центрами цилиндров при подборе ОКПС необходимо учитывать величину  $r_2$  вместо величины  $r$  (см. рисунок 2.9), что приводит к изменению значений для  $\psi_1, \varphi_{m1}$ , которые пересчитываются по (2.6), (2.7). При этом изменение других величин, как  $\psi_2, \varphi_1$ , будет представляться в прежнем виде по заданным формулам.

Решение поставленной в работе задачи реализовано в [121] (см. Приложение 3) программном продукте для расчета переноса краски на печатный материал между контактирующими цилиндрическими поверхностями листового офсетного печатающего устройства с границами деформации. Его реализация раскрыта далее на примере переноса краски между краскопередающей и красковоспринимающей поверхностями цилиндров печатного аппарата в печатной системе при подборе ОКПС [122]. Он отличается от ранее заявленного [93] тем, что в нем учтено влияние осевой вибрации цилиндров, возникающих вследствие отклонения от формы узлов печатного аппарата.

Алгоритма для расчета характеристик краскопереноса при подборе ОКПС показан на рисунок 2.10.

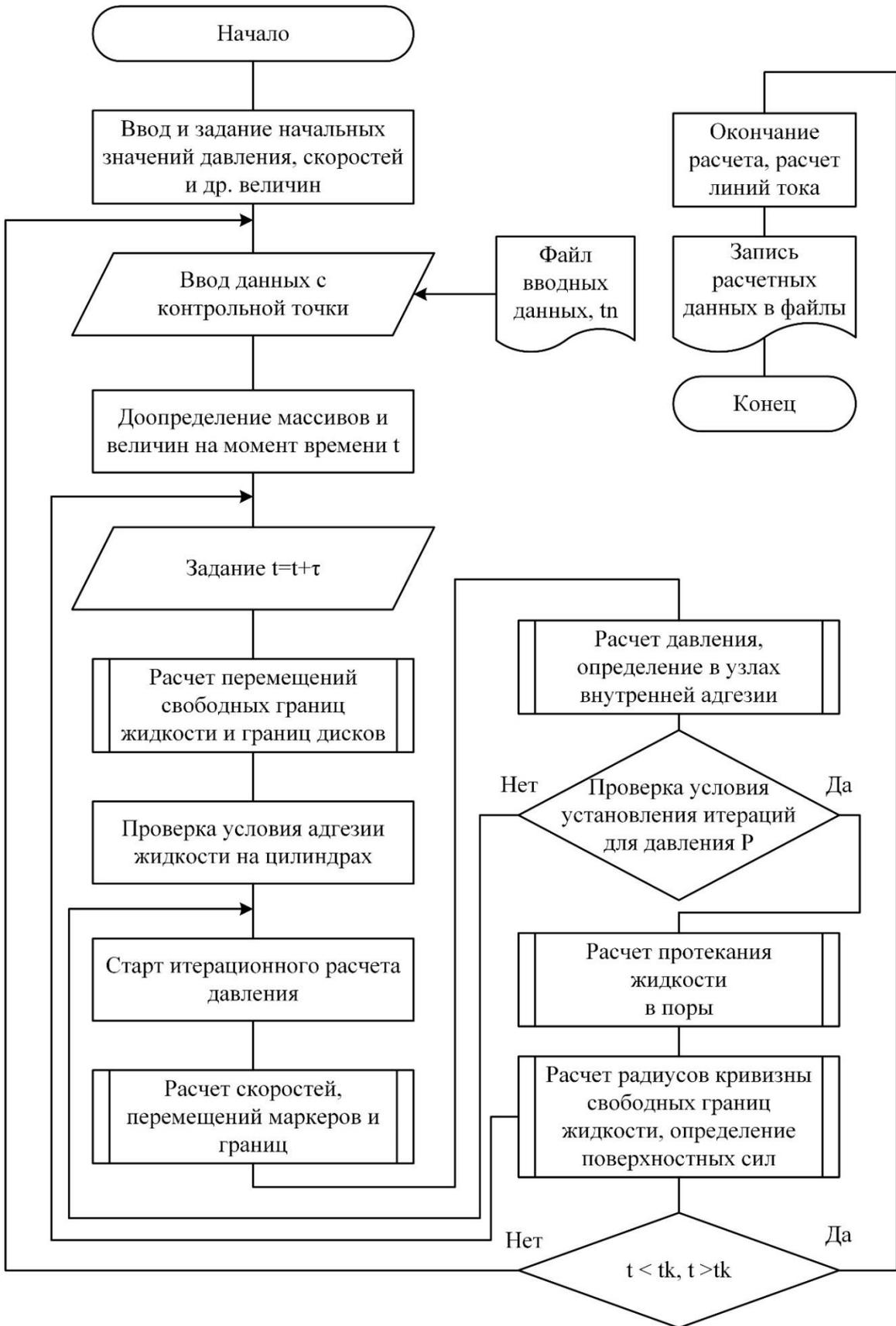


Рисунок 2.10 – Алгоритм для расчета характеристик краскопереноса

На рисунке 2.11. приведен алгоритм графического представления результатов автоматизированного расчета характеристик краскопереноса при подборе ОКПС с учетом осевой вибрации цилиндров и геометрической формы.

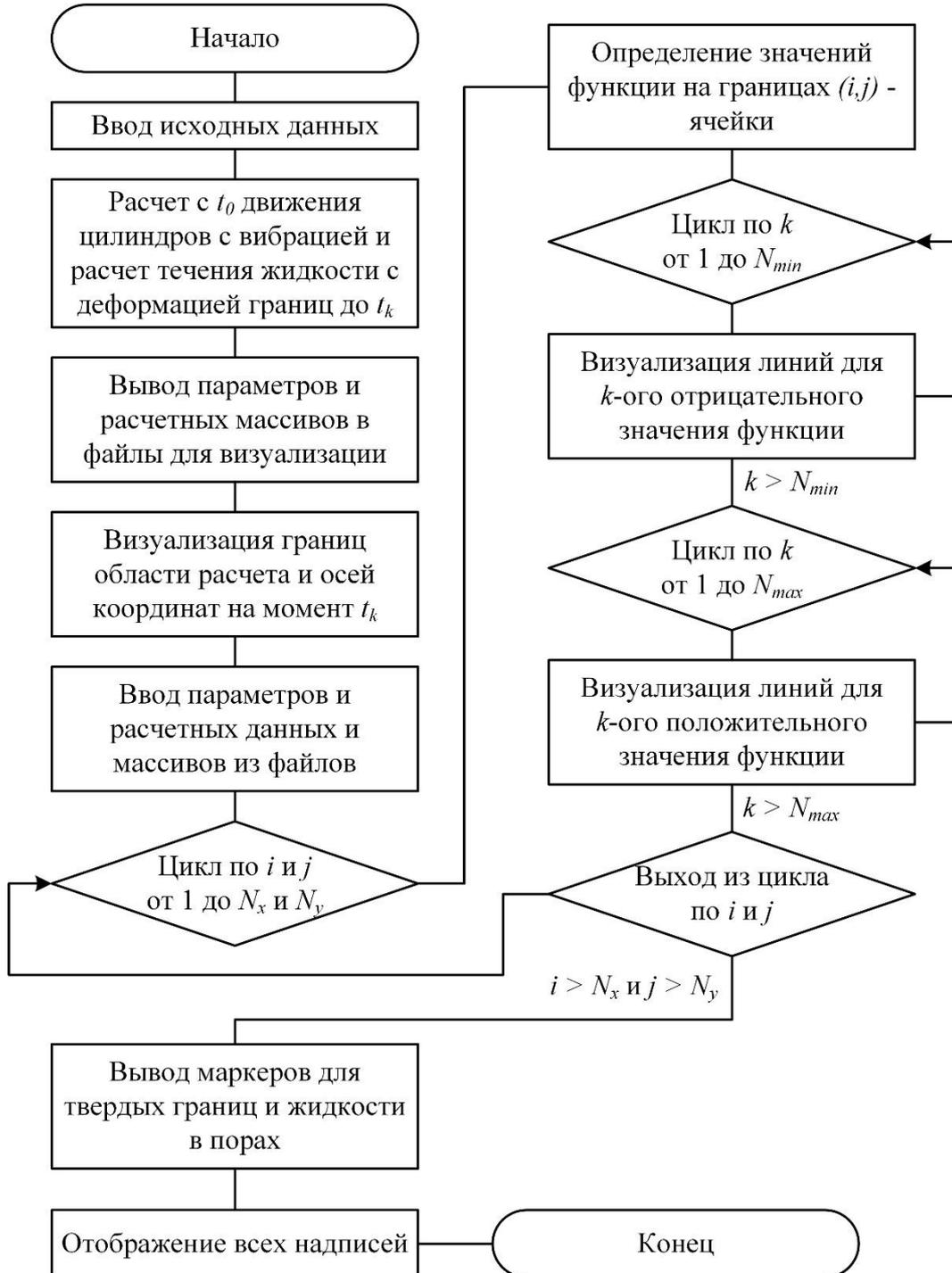


Рисунок 2.11 – Алгоритм графического представления результатов расчета для контроля характеристик краскопереноса

Требования к аппаратному обеспечению: процессор совместимый с архитектурой Intel, AMD x86 или x64 и тактовой частотой не ниже 1 ГГц, 120 МБ свободного места (при дополнительной установке NET Framework 4). Оперативная память не менее 512 МБ; тип ЭВМ: IBM PC -- совместимость ПК; язык: Fortran; ОС: Microsoft Windows XP, 2003, Vista, 7, 8, 10. Инструкция по использованию программы (см. Приложение 4) kr12\_pov.for, kr12\_pov.exe:

1. Вводятся входные данные в файле: SF8.DAT
2. Помещают в одну папку файлы SF8.DAT, kr12\_pov.exe и производят запуск программы kr12\_pov.exe.

3. После окончания работы программы расчетные данные выводятся в файл WinIs1.dat, который может быть использован в таком виде для графической обработки данных. Файл WM0\_R0083\_N080\_t000-0000036000.dat может быть использован для дальнейшего запуска с контрольной точки по конечному времени расчета. Другие выходные файлы (sf8nr.doc, isp1.doc, sf8mom.dat) несут дополнительную информацию по входным и выходным данным.

Показатель пылимости печатной краски определяли с помощью разработанного алгоритма численного моделирования, как разность между показателями: общим количеством печатной краски, перешедшей с краскопередающей поверхности на запечатываемый материал и оставшейся на краскопередающей поверхности после процесса переноса и расщепления печатной краски в зоне печатного контакта.

В предлагаемом техническом решении с помощью методов математического моделирования и математической статистики в контролируемой зоне переноса печатной краски на запечатываемый материал способом офсетной печати определяли область с отдельными красочными тяжами, имеющую наибольшую вероятность пылимости, в контролируемой зоне печатного изображения определяли область контрольного участка, имеющей наибольшую вероятность.

## 2.5 Практическая реализация алгоритма для контроля характеристик краскопереноса печатного изделия

Практическая реализация алгоритма расчета характеристик краскопереноса на основе численного моделирования с учетом влияния осевой вибрации и геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата позволяет:

- оперативно осуществлять оптимальный подбор ОКПС;
- снизить погрешность и повысить точность контролируемых показателей;
- прогнозировать и в автоматизированном режиме отслеживать влияние изменений характеристик ОКПС на точность контролируемых показателей.
- снизить расходные материалы при отладке и подготовке печатной машины к работе;

Компьютерное представление практической реализации результатов автоматизированного расчета показателей краскопереноса при подборе ОКПС в виде графических образов показано в таблице 2.2. В ней отражены следующие образы:

- наличие деформаций в слое и их развитие во времени;
- стадию и форму разрыва печатного слоя между краскопередающей и красковоспринимающей поверхностями цилиндров от степени воздействия на процесс осевой вибрации;
- наличие и форму красочных тяжей (пыление краски).

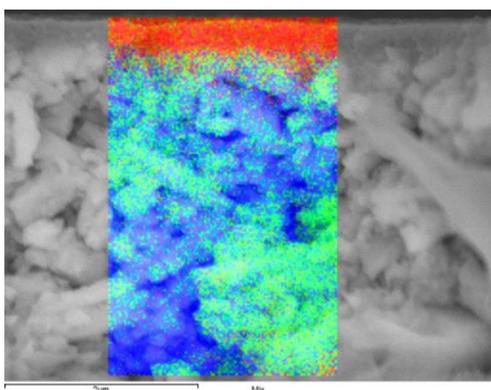
Практическая реализация разработанного алгоритма в режиме визуализации позволяет на экране отследить во время контроля деформации, рост которых вызван увеличением вибрации цилиндра печатного аппарата и которые имеют место в слое печатной краски в различные практически мгновенные временные периоды (доли секунды) под воздействием рассматриваемых переменных факторов. В рассматриваемом примере, наблюдается поперечный разрыв красочного слоя, а не продольный как это свойственно процессу с минимальным

или полным отсутствием вибрации. Это отрицательно сказывается на качестве печатного изделия.

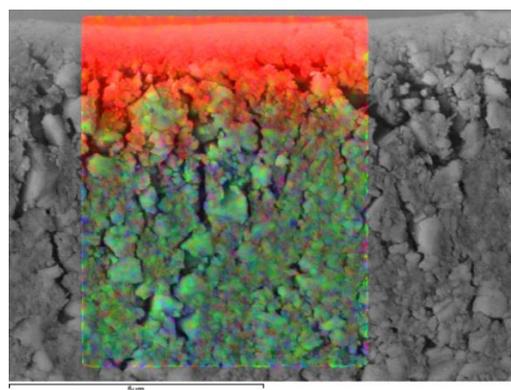
Таблица 2.2 – Результаты расчета и натурного экспериментов с доверительной вероятностью  $\gamma=0,95$

№ п/п	Материал печатного изделия	Ra, мкм	Эффективная пористость образцов	$\omega$ , рад/с	% печатной краски, впитавшейся в поры материала	% печатной краски на поверхности материала	% суммарный печатной краски
Расчетные значения							
1	Образец 1	0.392±0.001	0,2184 ± 0,0213	10	3.562±0.001	51.903±0.001	55.465±0.001
2	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							
1	Образец 1	0.392±0.001	0,2184 ± 0,0213	10	3.900±0.020	53.000±0.020	56.900±0.030
2	Образец 2	0.495±0.001	0,3264 ± 0,0032	10	7.060±0.010	48.300±0.010	55.360±0.020

Результаты натурного эксперимента оценивали с помощью метода растровой электронной микроскопии с применением сканирующего электронного микроскопа JSM 7500F JEOL, позволяющего изучать границы раздела сред, в том числе распределение печатной краски в различных слоях запечатываемого материала. На рисунке 2.12 показано, что с увеличением пористости запечатываемого материала глубина проникновения краски в структуру материала возрастает, что согласуется с данными, полученными с помощью предложенного алгоритма.



Образец № 1



Образец № 2

Рисунок 2.12 – Распределение краски в структуре запечатываемого материала

Визуализация результатов компьютерного и натурального эксперимента приведены в таблице 2.2. и в Приложении 5.

Результаты определения показателей краскопереноса, полученные натурным экспериментом и с помощью предложенного алгоритма, адекватны.

Для количественной оценки печатной краски, перешедшей в красочные тяжи и участвующей в образовании «красочного пыления», используются приемы численного и графического моделирования процесса [93, 117, 122] с помощью конечно-разностных методов решения. Для расчета течений жидкости между цилиндрами использовали формулу:

$$x_c = \frac{\tau^2}{H\rho} \left[ (P_1 - P_0) - \frac{E \Delta r}{H} \right] / \left( 1 + \frac{E\tau^2}{H^2\rho} \right) \pm \frac{\sqrt{\frac{\tau^4}{H^2\rho^2} \left[ (P_1 - P_0) - \frac{E\Delta r}{H} \right]^2 + \left[ 1 + \frac{E\tau^2}{H^2\rho} \right]^2 \tau^2 \cdot x_{c,1}^2}}{1 + \frac{E\tau^2}{H^2\rho}}$$

где  $\Delta r$  – величина деформации границы на какой-то момент времени  $t_1$ ,  $H$  – начальная толщина деформируемого слоя,  $\rho$  – плотность жидкости,  $E$  – модуль Юнга резины или подложки,  $P_0$  – внешнее атмосферное давление,  $P_1$  – давление на поверхности деформируемого материала.

Исходные данные к моделированию: радиусы цилиндров  $R_1 = R_2 = 0,30$  м,  $P = P_{атм} = 10^5$  Н/м<sup>2</sup> – давление окружающей среды; кинематическая вязкость  $\nu = 0,012$  м<sup>2</sup>/с, плотность  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент поверхностного натяжения жидкости  $c_n = 0,03$  Н/м.

Численные решения на сетке  $80 \times 80$  приведены при угловой скорости равной  $10 \text{ рад/с}$  на разные моменты времени для материала (бумаги) с различными показателями шероховатости поверхности  $R_a$ . Модули упругости резины –  $E_1 = 2,9 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$  и материала –  $E_2 = 4,8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ . В таблице 2.3 и рисунке 2.13 представлены результаты численного моделирования количественной оценки «пыления» офсетной печатной краски на выходе из зоны печатного контакта при переносе ее на подложки с различными характеристиками поверхности, проведенного с помощью конечно-разностных методов.

Для материала с невысокой шероховатостью практически деление красочного слоя происходит между красконесущей и красковоспринимающей поверхностями (% пыления небольшой).

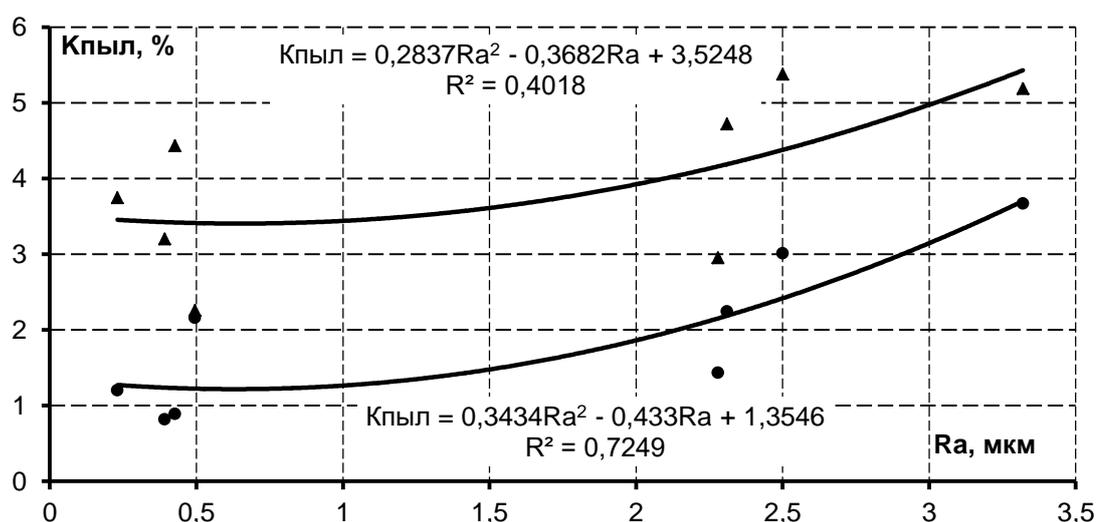


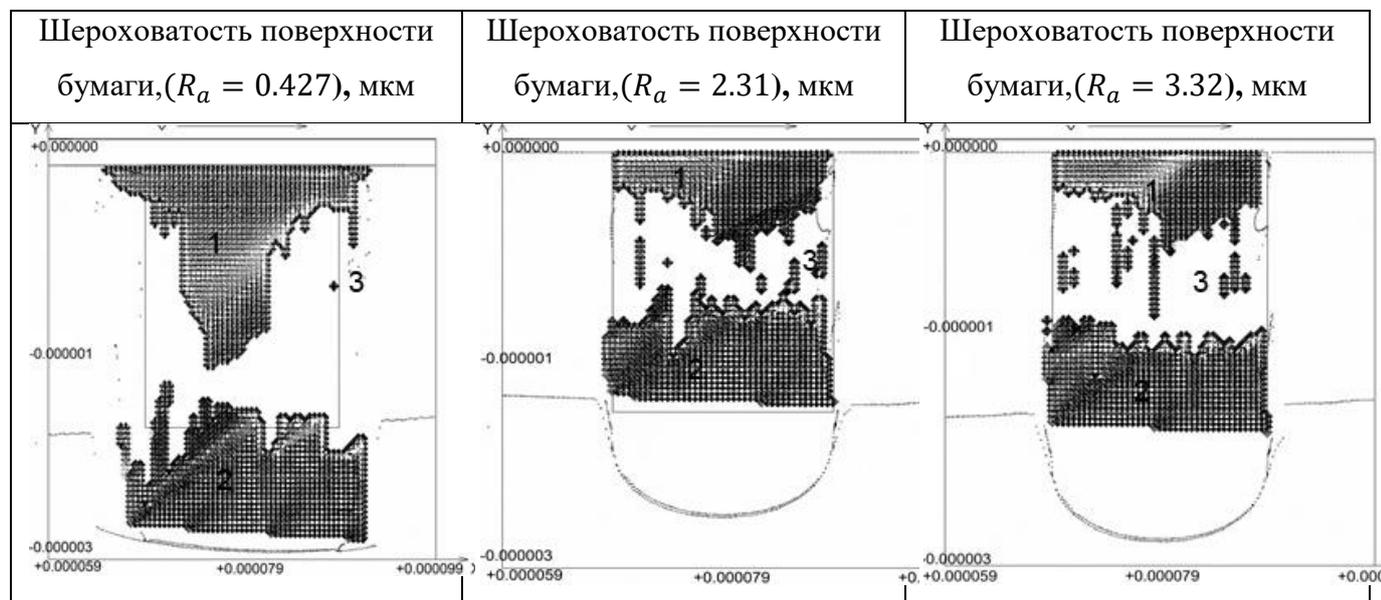
Рисунок 2.13 – Зависимость «пыления» краски  $K_{\text{пыл}}$  от шероховатости контактирующей поверхности  $R_a$ : • – угловой скорости вращения цилиндров  $10 \text{ рад/с}$ ;  $\Delta$  – угловой скорости вращения цилиндров  $20 \text{ рад/с}$

Таблица 2.3 – Результаты количественной оценки «пыления» краски

Шероховатость поверхности бумаги, ( $R_a$ ), мкм	Количество краски на офсетном цилиндре, %	Количество краски, перешедшей в пыление, %	Общее кол-во краски на оттиске на выходе из зоны контакта
0.427	42.52	2.07	55.31
2.31	35.03	2.24	62.73
3.32	32.13	3.66	64.21

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

В таблице 2.4 приведены результаты визуализации «пыления» краски на мониторе компьютера.



Предложенное решение позволяет контролировать и прогнозировать количественную оценку показателя «пыления», способствует увеличению экологической составляющей печатного процесса, повышает качество печатного изделия.

## Выводы по главе 2

1. Разработан метод определения красковосприятости материала для печатных изделий с учетом характеристик их микрогеометрии поверхности и распределения краски в ее структуре. Новый метод с использованием средств измерения и обработки информации с помощью запатентованного программного обеспечения, повышает достоверность и сокращает время контроля в 10 раз (с суток до нескольких часов).

2. Совершенствование метрологического обеспечения точности геометрических характеристик цилиндров печатного аппарата на основе, геометрической интерпретации модели цилиндров узла печатного аппарата

повышает оценку геометрических параметров печатной пары при контроле печатных изделий на этапах ее жизненного цикла.

3. Алгоритм определения характеристик краскопереноса на основе моделирования процесса печатания с учетом воздействия факторов, вызванных отклонением от геометрических допусков цилиндров печатного аппарата, позволяет с точностью до 0,001 оценивать контролируемые характеристики на начальном этапе подбора компонентов печатной системы (этап проектирования), предшествующем процессу нанесения многослойного покрытия на печатное изделие, вносить корректирующие поправки. Полученная точность превосходит величины в известных технических решениях (методах), важна при контроле инновационных изделий, изготавливаемых с применением способов полиграфии.

4. Предложен новый подход к решению количественной оценки «пыления» краски, что способствует повышению качества конечного продукта печати, позволяет контролировать экологическую безопасность процесса.

### 3 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА И МНОГОКРАСОЧНЫХ ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для получения высококачественного многокрасочного изображения на печатном изделии существенным фактором является следующее:

- высокая точность совмещения отдельных цветоделенных изображений для триадных красок;
- положение отдельных элементов изображений без геометрических сдвигов.

Среди всех критериев для контроля качества можно выделить два наиболее значимых показателя печати – это смещение цветов при печати и отклонение компонентов  $a$  или  $b$  в Lab (рисунки 3.1–3.2).

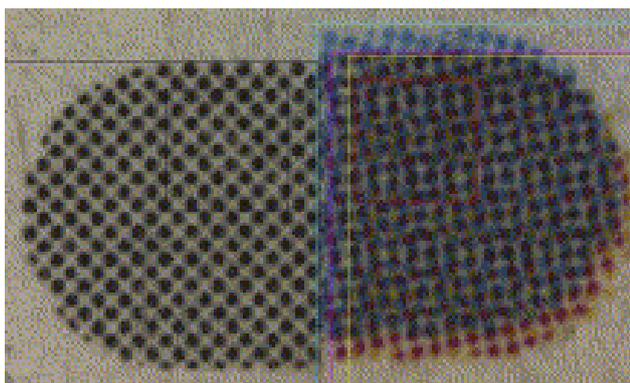


Рисунок 3.1 – Смещение слоев печати

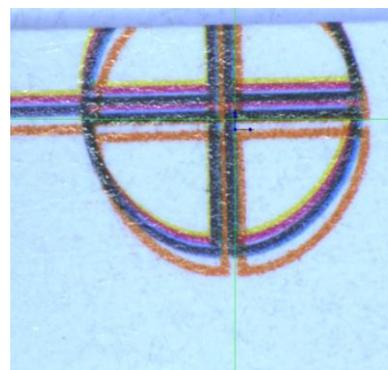
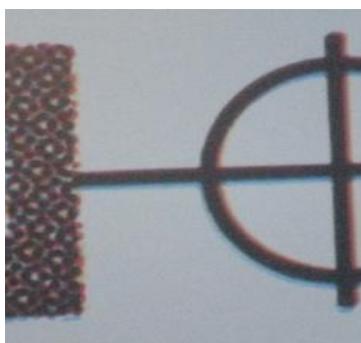
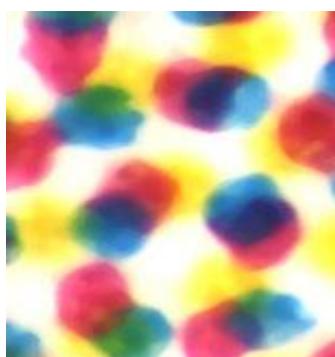
Проблема цветовоспроизведения успешно решается при помощи систем управления и контроля цветом. Тем не менее, по причине некоторых ограничений печатного синтеза, цвет оригинала может быть отражен на оттиске лишь субъективно тождественно.

Системы автоматического определения характеристик совмещения красок, известные сегодня, реализуют роль 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 относительно 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 (рисунок 3, b).

Для удобного контроля и определения совмещения красок между секциями печатной машины используются так называемые регистрационные метки, помещаемые за границу полезной области на полях бумаги, и которые имеют небольшую толщину (порядка 0.25 пункта).

Для каждой краски используются свои регистрационные метки. Важнейшая задача в процессе нанесения изображения при изготовлении печатного изделия – свести их воедино, чтобы из-под одной метки не было видно другой. Ниже на рисунке 3.2 показан набор регистрационных меток, и вариант правильного их совмещения (рисунок 3.2,b).



а)

б)

в)

Рисунок 3.2 – Расположение элементов изображения и контрольных меток :

- а) геометрия формы тестовой точки при совмещении ее цветовых комбинаций; б) положение приводочной метки; в) визуализация несовмещения красок

Приводка красок по образующей цилиндра (по его окружности и в осевом направлении) и направлению движения бумажного листа достигается регулированием совмещения красок относительно друг друга в печатных секциях. В настоящее время методы и системы контроля приводки, базируются на

анализе *специальных меток*, нанесенных на запечатываемый материал (рисунок 3.2). Для количественной оценки определяемых отклонений с применением лупы, последняя должна обязательно иметь измерительную шкалу. Точность измерения зависит от цены деления шкалы и воздействия случайных факторов.

С целью упрощения процесса контроля вдоль изображения на оттиске печатают тест-объекты – специальные приводочные метки в форме креста (рисунок 3.2, б). Производят измерение относительных расхождений при печати каждого многокрасочного изображения в пикселях по отношению к эталонным моделям, что достаточно сложно и экономически нецелесообразно.

На рисунке 3.3 показана геометрия формы тестовой точки при совмещении ее цветовых комбинаций и неоднородность красочного слоя.

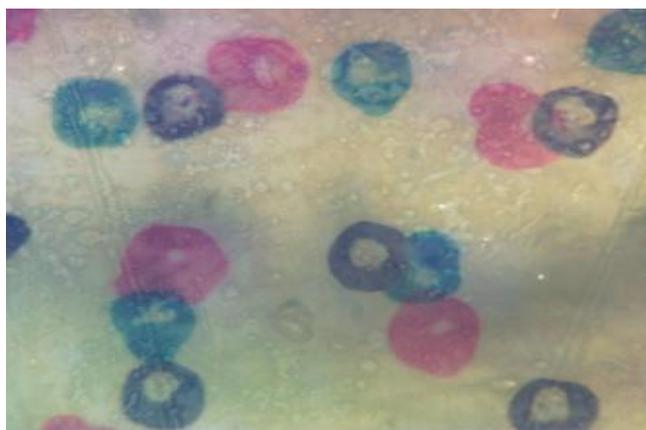


Рисунок 3.3 – Формы тестовой точки при совмещении ее цветовых комбинаций и неоднородность красочного слоя

В патенте [124] предложено улучшенное решение по измерению и коррекции приводки оттисков многокрасочной печати для ценных бумаг, чтобы имело место матричное расположение периодически повторяющихся отпечатков, без использования специальных меток или знаков совмещения.

Результат измерения фактической приводки оттисков между первым и вторым рисунками на печатной основе вычисляют путем обработки и нахождения соответствия между (i) по меньшей мере, одним выборочным изображением на печатной основе, охватывающим по меньшей мере, часть первого и второго рисунков; и (ii) по меньшей мере, одним соответствующим эталонным изображением, сформированным с использованием допечатных проектных данных для первого и второго рисунков (рисунки 3.4–3.5).

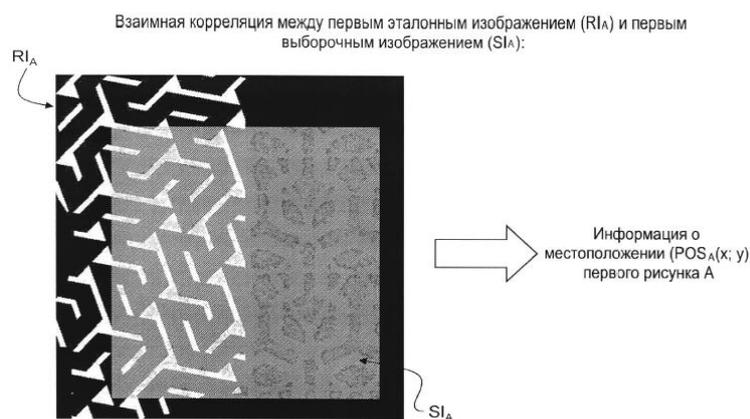


Рисунок 3.4 – Схематично показано наложение первого эталонного изображения и первого выборочного изображения

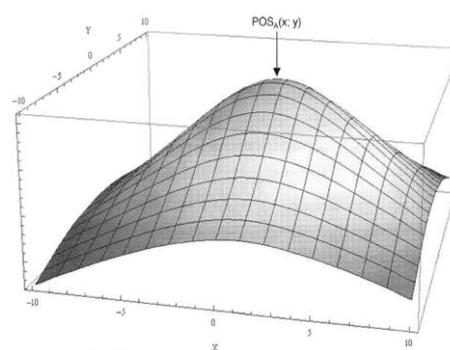


Рисунок 3.5 – корреляционная функция с использованием двух переменных сдвига (координат  $x$  и  $y$ ) для двух изображений

Взаимно-корреляционная функция с использованием двух переменных сдвига (координат  $x$  и  $y$ ) для двух изображений, с выделенным пиком, соответствующим лучшему совпадению между этими двумя изображениями показана на рисунке 3.5. Положение этого пика используется для извлечения соответствующей информации о местоположении рисунка. На основании полученных данных строят карту результатов множества измерений для последующей приводки оттисков.

Несмотря на достигнутые положительные результаты, в рассматриваемых работах не оценивается величина смещения изображения посредством оптоэлектронного приспособления, например, тест-отпечатка относительно центра тестовой тест-точки (объекта), что и подтверждает актуальность данной разработки и определяет направление решения задачи.

### 3.1 Разработка алгоритма и программного обеспечения для определения характеристик микрогеометрии подложки

Многообразие действующих методов для определения характеристик шероховатости поверхности, каждому из которых свойственен свой диапазон

измеряемых размеров, сегодня позволяет оценить ее трехмерный рельеф с различной точностью [125]. В частности, метод [126], в основе которого положено применение комплексной формы интеграла Фурье, точно оценивает все виды отклонений, но трудоемок и имеет высокую степень абстракции.

Кроме того, оцениваемые поверхности материала для нанесения на них печатного изображения имеют свои особенности, обусловленные неоднородностью поверхности, связанные с технологией изготовления, текстурой поверхности, наличием водяных знаков и прочие. Способ оценки неоднородности бумажного полотна на основе функции рельефа [127], несмотря на свою информативность, не оценивает показатели микрогеометрии подложки. Из-за индивидуальных особенностей материалов для изготовления печатных изделий методами печатания, стандартные методы измерения шероховатости поверхности не дают адекватной оценки и требуемой точности.

Объективная оценка показателей, характеризующих шероховатость поверхности (бумаги) была получена с помощью разработанной в работе программной реализации «Оценка характеристик микрогеометрии поверхности запечатываемых подложек» [75] (см. Приложение 6). Разработанный алгоритм, включающий в себя нижеперечисленные этапы, позволяет, принимая допущение о нормальном законе распределения, наглядно визуализировать профиль поверхности исследуемого образца, повысить точность расчётов и снизить трудоемкость математических вычислений при определении конкретных характеристик объектов исследования (рисунок 3.6).

Основные этапы алгоритма состоят в следующем:

- запрос данных;
- вычисление функции; построение графиков;
- расчет основных характеристик поверхности; формирование отчета.

В программе профиль поверхности представлен в виде многочлена Фурье. Исходные данные – координаты профиля поверхности, вводятся на первом этапе автоматическим считыванием данных из \*.txt файлов или ручным копированием координат.

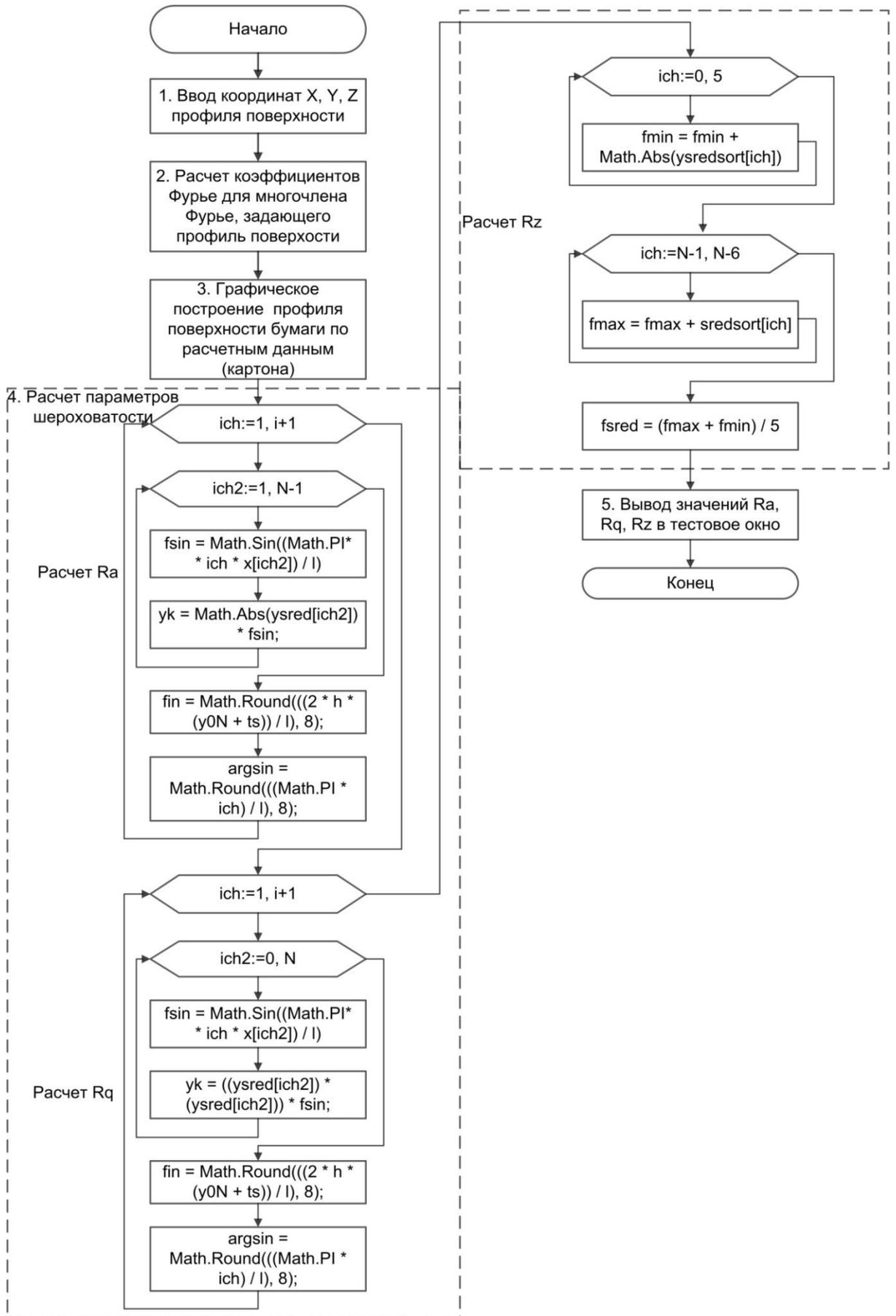


Рисунок 3.6 – Алгоритм вычисления характеристик профиля подложки для печати

Доступность для пользователей обеспечивается за счет создания с помощью компонента `MenuStrip` и компонента `ToolStrip` удобного меню и функциональной панели, на которой располагаются основные элементы работы с программой. Весь функционал программы убран под вкладки, созданные с помощью компонента `TabControl`.

Для того чтобы отобразить результат выполнения программы формируется элемент класса `StringBuilder`, в который заносится готовый результат. Для построения графиков (профиля) используется стандартный компонент `Chart`.

В программе профиль поверхности представлен в виде многочлена Фурье. Исходные данные – координаты профиля поверхности, вводятся на первом этапе автоматическим считыванием данных из \*.txt файлов или ручным копированием координат. Доступность для пользователей обеспечивается за счет создания с помощью компонента `MenuStrip` и компонента `ToolStrip` удобного меню и функциональной панели, на которой располагаются основные элементы работы с программой. Весь функционал программы убран под вкладки, созданные с помощью компонента `TabControl`.

Для того чтобы отобразить результат выполнения программы формируется элемент класса `StringBuilder`, в который заносится готовый результат. Для построения графиков (профиля) используется стандартный компонент `Chart`.

В процессе работы пользователю необходимо ввести количество членов многочлена Фурье и длину образца (из расчета при шаге равном 1 мкм). Благодаря тому, что программа работает с потоками, что является ее отличительной способностью, количество членов многочлена Фурье можно выставить больше 1000 обеспечивая высокую скорость вычислений. Для снижения погрешности вычислений, в программе предусмотрен модуль контроля ошибок.

Разработанная программа отличается оперативностью. Предусмотрена возможность просмотреть, в виде графиков, профиль поверхности по исходным координатам  $x$  и  $y$ , рассчитать характеристики шероховатости поверхности  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$  и др. [75]. Графики можно просмотреть как отдельно друг от друга, так и с помощью наложения для оценки правильности расчета аналитической функции.

### 3.2 Разработка метода определения косины печатного изделия

Одной из причин несовмещения красок является отклонение положения листа бумаги в зоне печатного контакта вследствие нарушения допусков на косину листа бумаги относительно ее геометрической формы. Следует заметить, что действующие стандартные методы контроля косины листа бумаги для печатных изделий не отвечают в полной мере требованиям сегодня. Разработанному методу определения косины [128, 129] (см. Приложение 7) свойственна отличительная особенность – определение отклонений от прямоугольности осуществляется с помощью оптических измерительных средств с учетом величины угла с наибольшим отклонением. В качестве измерительного инструмента был использован оптический микроскоп, позволяющий трансформировать углы сторон подложки на экран монитора компьютера (рисунок 3.7) для выбора угла, имеющего наибольшее отклонение от прямоугольности и проведения расчёта косины листа по его основным геометрическим размерам.

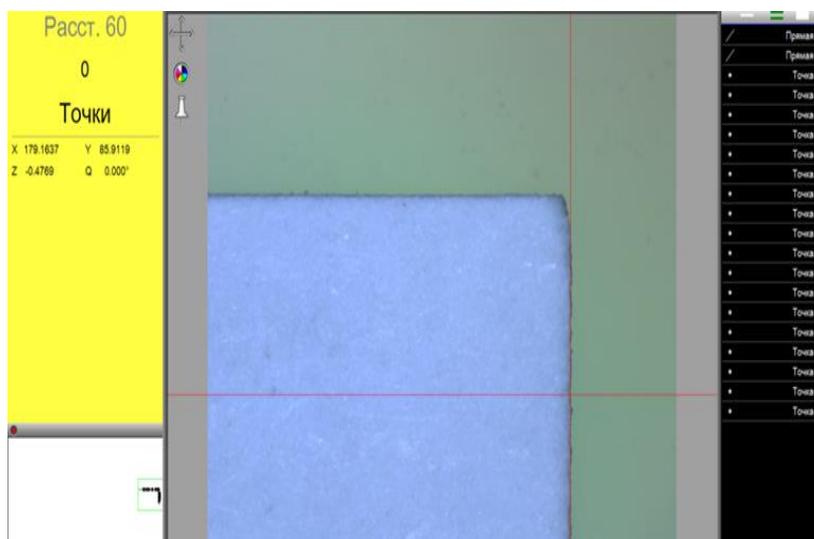


Рисунок 3.7 – Трансформация угла подложки на экране монитора

Схема определения углов представлена на рисунке 3.8.

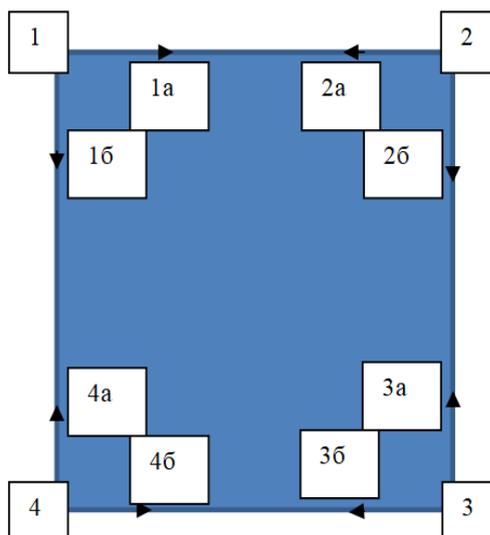


Рисунок 3.8 – Схема измерения углов

Последовательность определения углов листа бумаги состоит в следующем:

1. Запуск программы.
2. Установка объекта исследования.
3. Выбор режима работы. Установка режима «Точка».
4. Компьютерная визуализация измеряемой геометрической характеристики.
5. Определение размеров геометрических характеристик.
6. Определение отклонения геометрических характеристик (пример реализации в табл.1).
7. Заключение и сохранение результатов в базе данных.

Проводят расчёт косины листа по основным геометрическим размерам. Для определения косины листа (рисунок 3.9), равной катету AC, опускают из вершины угла В имеющего наибольшее отклонение от прямоугольности перпендикуляр и находят косину листа как катет прямоугольного треугольника. Абсолютная косина листа бумаги  $K_{abc}$  вычисляют по известной тригонометрической формуле.

$$K_{abc} = BC \times \operatorname{tg} \beta,$$

где BC – размер, соответствующий формату листа.

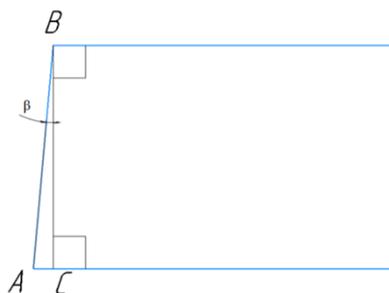


Рисунок 3.9 – Расчетная схема определения косины листа

Преимуществом данного метода является: точное определение значений угла листа и возможность определения косины листа до десятых значений миллиметра, что соответствует требованиям п. 10.2.5 вышеописанного стандарта.

Согласно техническим требованиям ГОСТ Р 57641-2017, введенного в действие 2018-03-01 на бумагу для офисной техники, предельное отклонение на косину листа не должно превышать 0,5 мм [130].

Результаты практической апробации, полученные по методу [128] с использованием в качестве измерительного инструмента микроскопа Walter Uhl technische Mikroskopie GmbH & Co. KG (Uhl VMM 150), абсолютная погрешность которого  $1.8 + L/200$ , где  $L$  – измеряемая длина в мм [131] и сравнение его с методом, предложенным в нормативной документации [56], представлены в таблице 3.1.

В реализованном примере по каждому из направлений определяется некоторое значение точек ( $L$  – отклонение от прямолинейности в точках  $L_1, L_2, \dots, L_n$ ), по которым в дальнейшем строятся прямые и определяются отклонения геометрических характеристик и значения углов между этими прямыми (таблица 3.1, таблица 3.2).

В таблице 3.2 выборочно представлены результаты работе пяти измерений, согласно схеме, представленной на рисунке 3.8.

Сравнение результатов апробации с результатами, полученными методом, предложенным в нормативной документации, показало, что при определении косины листа в соответствии с методом, предусмотренным нормативной документацией, 4 значения превысили максимально допустимую косину, по предложенному методу 5 значений с большой разницей превысили максимально допустимое значение и 9 значений можно отнести к пограничному значению.

Таблица 3.1 – Сравнение методов определения косины печатного изделия

№	Стандартизированный метод (ГОСТ 21102-97)			Предложенный метод (Пат. № 2776593)			Разница в определенн ых значениях, %
	Диагональ 1, мм	Диагональ 2, мм	Косина, мм (по модулю)	Длина соответствую щая формату листа	Значение угла, градусы	Косина, мм	
1	363	364	1	297	0,241	1,249	19,953
2	365	363	2	297	0,376	1,949	2,613
3	364	365	1	297	0,237	1,229	18,602
4	363	364	1	297	0,196	1,016	1,574
5	365	365	0	297	0,021	0,109	100,000
6	363	363	0	297	0,046	0,238	100,000
7	362	363	1	297	0,079	0,410	144,196
8	362	363	1	297	0,102	0,529	89,132
9	364	363	1	297	0,157	0,814	22,876
10	365	364	1	297	0,329	1,705	41,364
...	...	...	...	...	...	...	...
99	364	364	0	297	0,032	0,166	100,000
100	365	364	1	297	0,205	1,063	5,895
max	365	365	2	297	0,407	2,110	
min	362	362	0	297	0,001	0,005	

Таблица 3.2 – Определение значений L

Значение параметра L в направлении 1а, мм	Значение параметра L в направлении 1б, мм	Значение параметра L в направлении 3а, мм	Значение параметра L в направлении 3б, мм
0,0011	0,0054	0,0012	0,0012
0,0023	0,0013	0,0022	0,0045
0,0034	0,0022	0,0042	0,0034
0,0009	0,0023	0,0012	0,0009
0,0019	0,0011	0,0045	0,0011
Значение параметра L в направлении 2а, мм	Значение параметра L в направлении 2б, мм	Значение параметра L в направлении 4а, мм	Значение параметра L в направлении 4б, мм
0,0022	0,0043	0,0054	0,0056
0,0025	0,0011	0,0016	0,0021
0,0013	0,0044	0,0011	0,0037
0,0014	0,0045	0,0026	0,0047
0,0069	0,0012	0,0036	0,0011

Предложенный метод обеспечивает наибольшую точность определения косины листа подложки, с точностью до 0,001 мм. При определении стандартным способом доверительный интервал будет составлять  $0,827 \pm 0,180$  мм (минимум 0,647мм, максимум 1,007мм). Для разработанного метода  $0,835 \pm 0,200$  мм (минимум 0,635 мм, максимум 1,035 мм).

### **3.3 Разработка метода контроля совмещения красок**

В процессе многокрасочной печати ввиду многообразия воздействия различных случайных факторов, например, деформации бумаги, возникает проблема совмещения изображений, отпечатанных в различных фазах печати. Направления этих смещений различны и находятся в широких пределах (нескольких пикселей), что не отвечает установленным требованиям к качеству печатного изделия. Согласно действующим требованиям, точность совмещения красок должна быть в пределах нескольких сотых миллиметра (0,05–0,12 мм), регламентируются на практике допустимые отклонения примерно 0,10-0,15 мм.

Однако на практике имеет место присутствие дефектов печати, в частности, краска не полностью заполняет контуры печатного элемента, например, в форме круга (геометрических искажений); краска выходит за границу круга (растискивание), что приводит к смещению изображения.

Геометрические искажения – это случайные (незапланированные) изменения геометрической формы на изображении. При многоцветной печати с учетом допустимых отклонений от «креста» наблюдается несовпадение цветowych отпечатков монокрасок, которое варьируется от полного несовпадения до незначительного (рисунки 3.10 – 3.11).

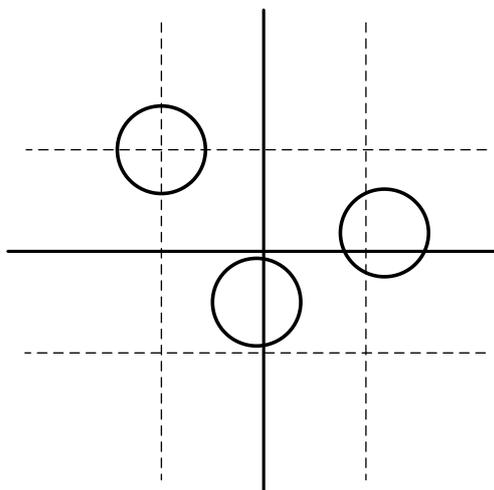


Рисунок 3.10 – Полное несовпадение моноотпечатков. Моноотпечатки выходят за границы допустимых значений. Брак

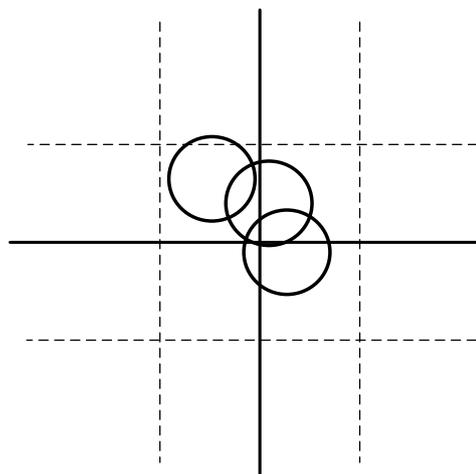


Рисунок 3.11 – Незначительное несовпадение моноотпечатков в пределах допусков

Разработан метод оценки графической точности совмещения красок в процессе контроля цветопередачи многослойного изображения наносимого на материал печатного изделия на основе моделирования.

Последовательность алгоритма действий данного 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 (3.1) для каждого из трех тест-объектов и каждого поля допуска:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq R^2, \quad (3.1)$$

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

- 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 VMM 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 (рисунки 3.12-3.13):

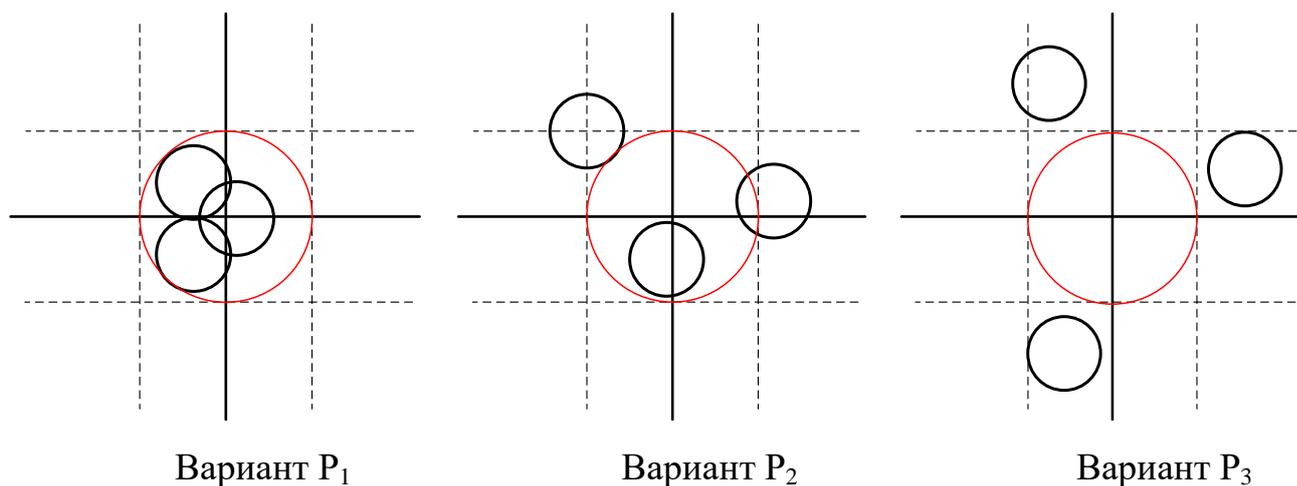


Рисунок 3.12 – Варианты расположения моноотпечатков относительно поля допуска

- (P<sub>1</sub>) – все тест-объекты попадают в поле допуска (в пересечение всех требуемых полей допусков);
- (P<sub>2</sub>) – некоторые тест-объекты пересекают границу поля допуска или касаются ее внешним образом,
- (P<sub>3</sub>) – все тест-объекты находятся вне поля допусков и его границы.
- построить полигон относительных частот (в процентах) количества микроочек, в которых происходит совмещение тест-объектов в различных вариантах: от отсутствия совмещений до совмещения всех трех красок (рисунок 3.14).

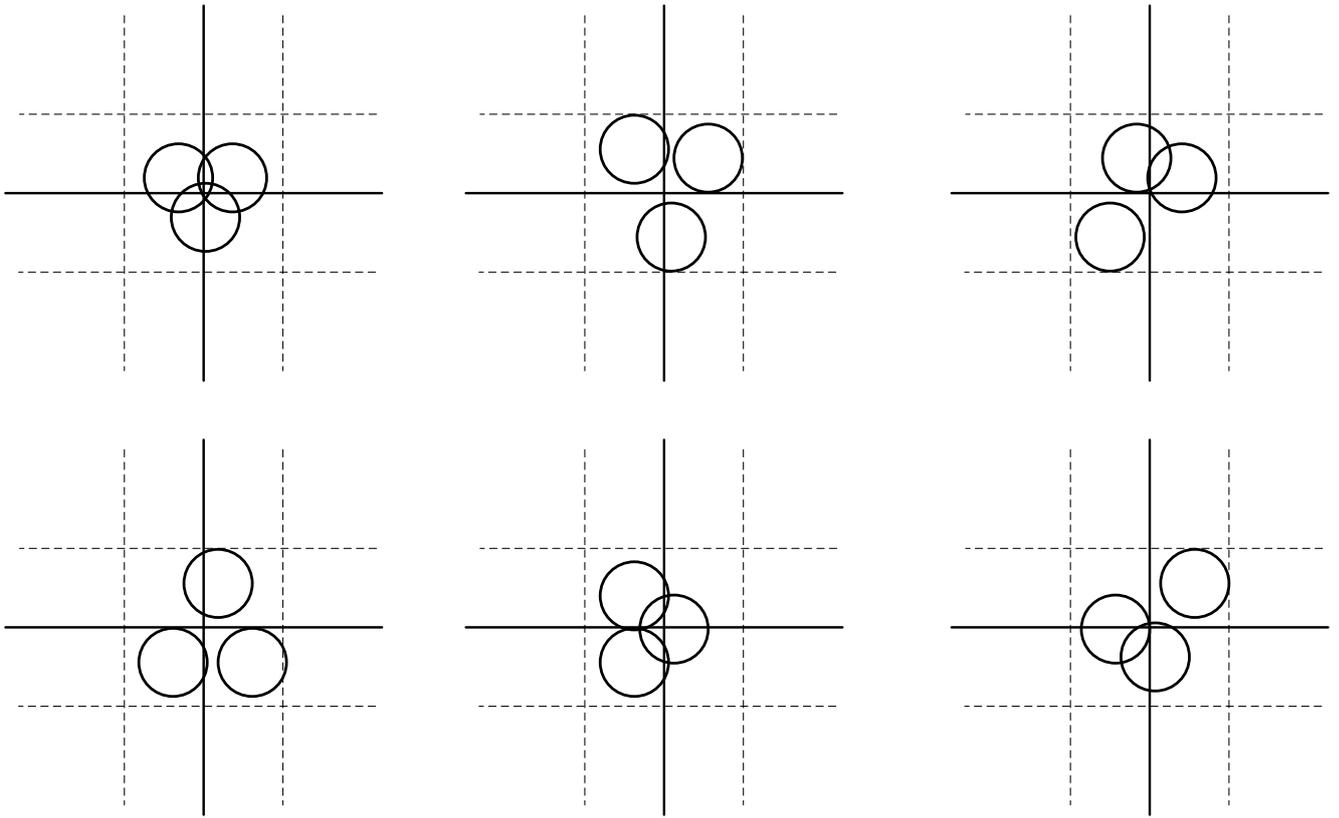


Рисунок 3.13 – Фрагмент исследуемого образца запечатываемого материала.

Плановое расположение микроточек, «кресты», допуски

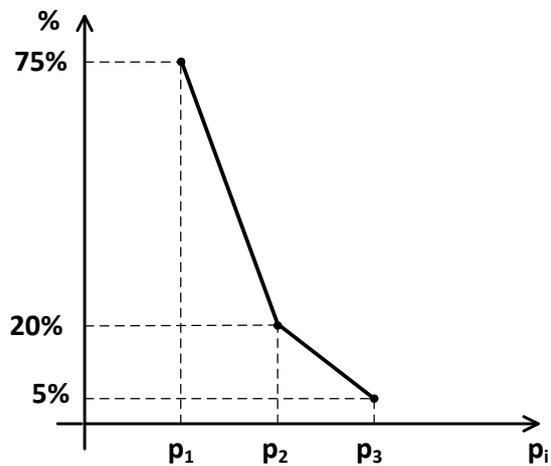


Рисунок 3.14 – Полигон относительных частот позиций  $P_i$  в процентах

Возрастание ломаной полигона относительных частот свидетельствует о хорошем качестве печати. Соотношение вариантов  $P_1:P_2:P_3 = 75:20:5(\%)$  обеспечивает требуемое качество.

На рисунке 3.15 приведена схема определения отклонений от заданной геометрической формы тест-объекта при контроле многокрасочного изображения.

Сущность метода заключается в следующем. Выделим на отпечатанном многокрасочном изображении тестовый образец в виде прямоугольника, содержащий систему из  $m \times n$  окрашенных тест –точек, которые в идеальном варианте являются кругами.

Качество оттиска характеризуется двумерным случайным вектором  $X(X_1; X_2)$ , где случайная величина  $X_1$  является площадью реального точечного отпечатка (в  $\text{мкм}^2$  или в кодированных единицах), случайная величина  $X_2$  – площадь запечатанной части идеальной тест-точки с учетом допусков.

В кодированных единицах площадь идеальной тест-точки принимается равной единице. Идеальными значениями случайного вектора  $X$  являются  $X(1;1)$ .

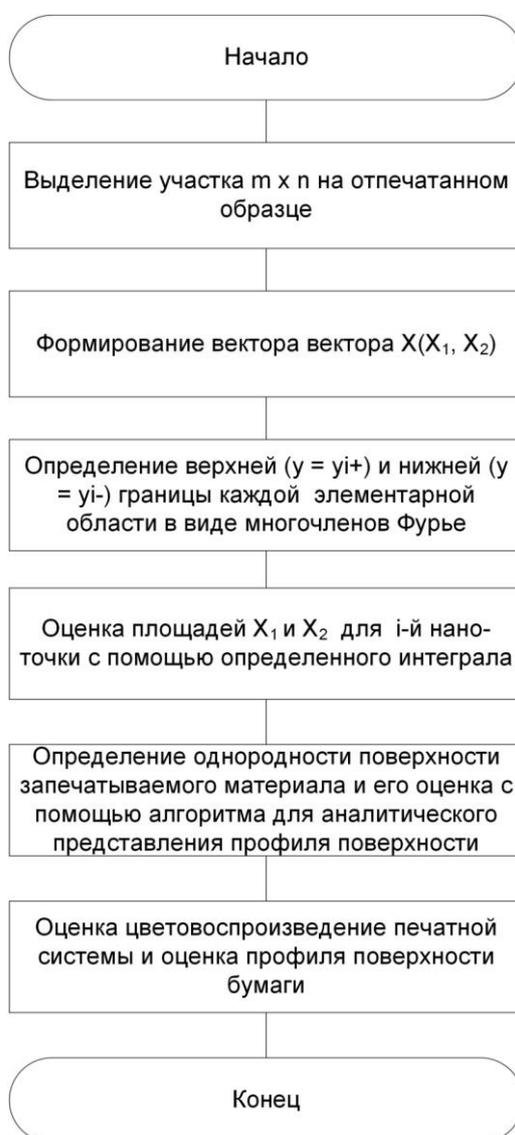


Рисунок 3.15 – Схема определения отклонений от заданной геометрической формы тест-объекта контроля многокрасочного изображения

Ставится задача: найти распределение случайного вектора  $X(X_1; X_2)$ . На исследуемом образце запечатываемого материала, содержащего  $m$  х  $n$  окрашенных тест-точек, вводится прямоугольная система координат и единица масштаба, что позволяет задать указанные площади (значения  $X_1$  и  $X_2$  для каждой запечатываемой тест-точки) аналитически с помощью приемов математического и гармонического анализа (рисунок 3.16).

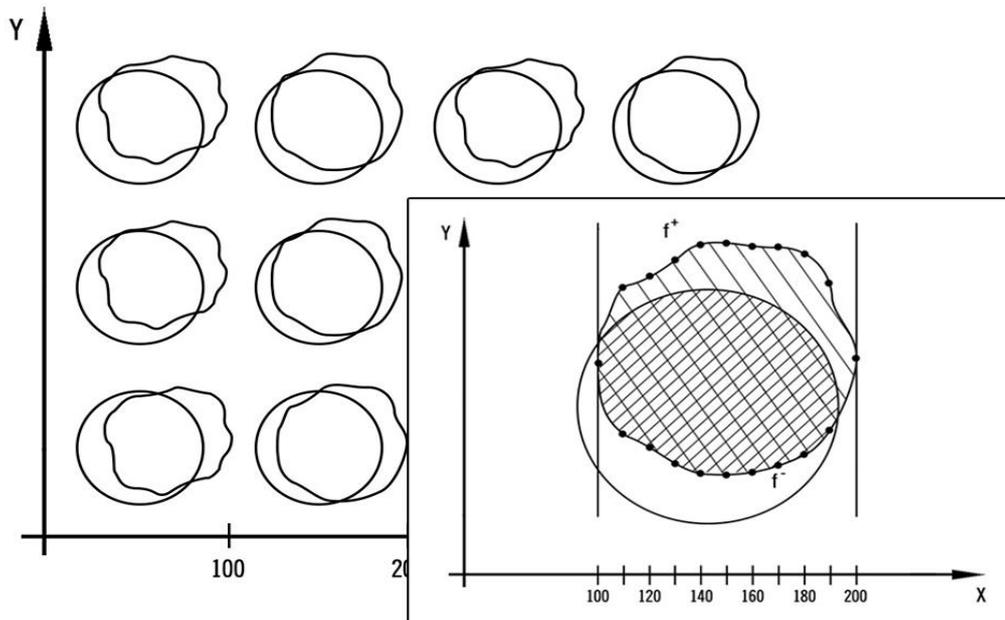


Рисунок 3.16 – Смещение запечатываемой тест-точки относительно идеальной

Считаем, что данные площади являются площадями элементарных областей, в противном случае отпечатки разбивают на конечное число элементарных областей. Верхнюю ( $y = y_i^+$ ) и нижнюю ( $y = y_i^-$ ) границы каждой элементарной области задают в виде многочленов Фурье, предварительно замерив координаты точек, лежащих на этих границах. Случайные величины  $X_1$  и  $X_2$ , как будет показано далее, имеют распределение, близкое к нормальному. Критерий Пирсона ( $\chi^2$ ) использовался с целью проверки гипотезы о нормальном законе распределения.

Оценку площадей  $X_1$  и  $X_2$  для  $i$ -й тест-точки находят с помощью определенного интеграла по формуле

$$S_i = \int_{a_i}^{b_i} (y_i^+ - y_i^-) dx, \quad i = \overline{1, mn}, \quad (3.2)$$

где  $y_i^+$  - многочлен Фурье для верхней границы элементарной области,  $y_i^-$  - многочлен Фурье для нижней границы элементарной области.

Для упрощения формулы (3.2) начало координат помещают в точку  $a_i$  отрезка  $[a_i, b_i]$  и разность  $b_i - a_i$  обозначают через  $a$ . Тогда

$$y_i^+ = \sum_{k=1}^n b_{ki} \sin \frac{\pi k x}{a}, \text{ где } b_{ki} = \frac{2}{a} \int_0^a y_i^+ \sin \frac{\pi k x}{a} dx,$$

$$y_i^- = \sum_{k=1}^n c_{ki} \sin \frac{\pi k x}{a}, \text{ где } c_{ki} = \frac{2}{a} \int_0^a y_i^- \sin \frac{\pi k x}{a} dx,$$

$$S_i = \int_0^a \sum_{k=1}^n \left( (b_{ki} - c_{ki}) \sin \frac{\pi k x}{a} \right) dx$$

Оценить степень совпадения моноотпечатков различных красок с плановым (тестовым) отпечатком можно с помощью матрицы  $X$  размерности  $2 \times n$

$$X = \begin{pmatrix} X_1^0 & \dots & X_n^0 \\ X_1 & \dots & X_n \end{pmatrix},$$

где  $n$  – количество красок, участвующих в многоцветной печати,  $X_i^0$  – полная площадь моноотпечатка микроточки, полученного с помощью  $i$ -той краски,  $X_i$  – площадь пересечения моноотпечатка  $i$ -той краски и планового отпечатка микроточки,  $i = \overline{1, n}$ , в предположении, что площадь планового отпечатка микроточки в кодированных единицах равна 1.

Считая, что указанные площади являются площадями элементарных областей и, задавая верхнюю и нижнюю границы этих областей в виде многочленов Фурье, находим площади этих областей с помощью известных приемов математического анализа.

Рассмотрим результаты практической апробации предложенного решения. Варианты положения смещения контрольных меток при печати представлены на рисунках 3.17-3.18. Результаты определения отклонений от геометрической формы печатного элемента показаны в таблице 3.4. Измерения контрольных меток производят с применением оптических измерительных приборов. Последовательность действий определения геометрических характеристик тестового элемента с использованием бесконтактного метода измерения при

помощи видеоизмерительной машины микроскопа VMM 150 («Walter Ulm technische Mikroskopie GmbH & Co») приведена на рисунке 3.19.

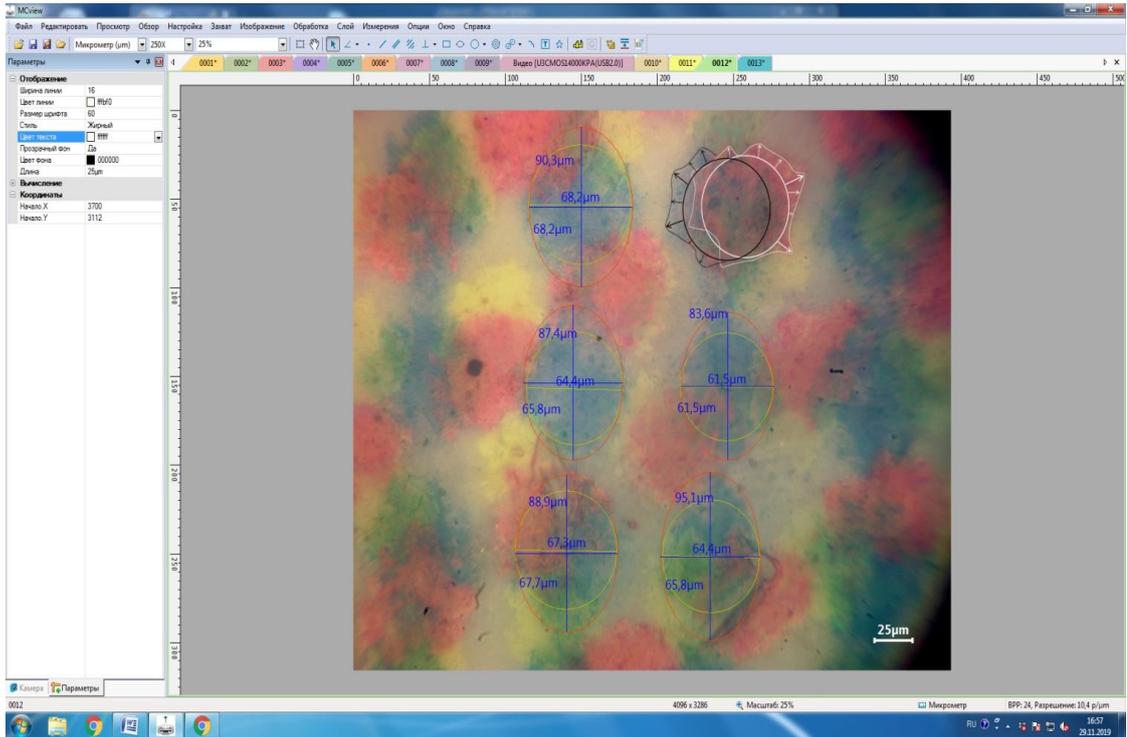


Рисунок 3.17 – Геометрическая форма запечатываемой тест-точки относительно оригинальной ее формы на тестовом образце

Обработку результатов прямых многократных измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736–2011. Случайные величины  $X_1$  и  $X_2$  имеют распределение, близкое к нормальному.

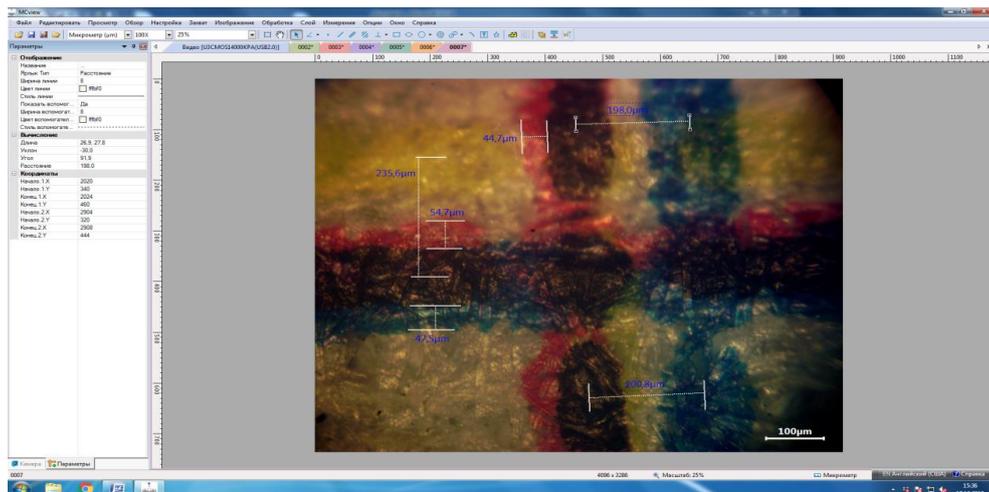


Рисунок 3.18 – Смещение контрольных меток при печати

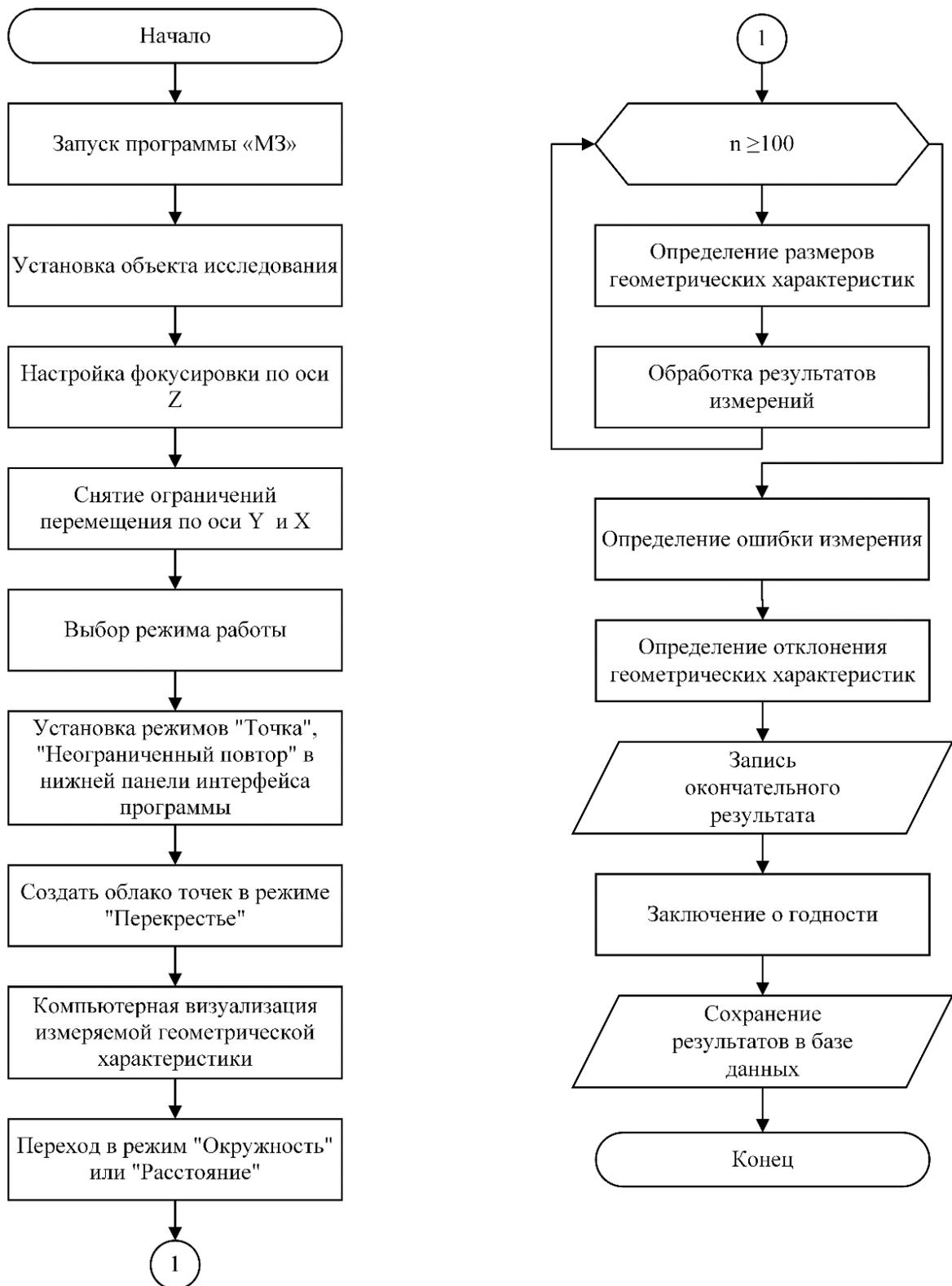


Рисунок 3.19 – Измерение отклонений

С аналитической точки зрения при введении системы координат на тестовом образце каждый из кругов допусков будет задаваться своим неравенством вида

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq R^2, \quad (3.3)$$

где  $(x_0, y_0)$  – центр данного круга допусков;  $(x, y)$  – произвольная точка круга допусков, включая границу.

Чтобы проверить принадлежит ли моноотпечаток полю допусков, достаточно подставить координаты центра моноотпечатка (или координаты любой его точки) в данное неравенство (3.3) вместо  $(x, y)$  и убедиться в том, что неравенство выполняется. При этом радиус  $R$  поля допусков нужно уменьшить на 1 мк, если используются координаты центра моноотпечатка (или на 2 мкм, если используются координаты произвольной точки моноотпечатка), чтобы убедиться в том, что моноотпечаток полностью находится внутри круга допусков радиуса  $R$ .

В силу возможного смещения крестов для различных красок относительного контрольного креста (и, следовательно, смещения поля допуска) для качественной печати необходимо, чтобы моноотпечаток каждой краски попадал не только в поле допуска контрольного креста, но и во все три (при трехцветной печати) поля допусков (рисунок 3.20).

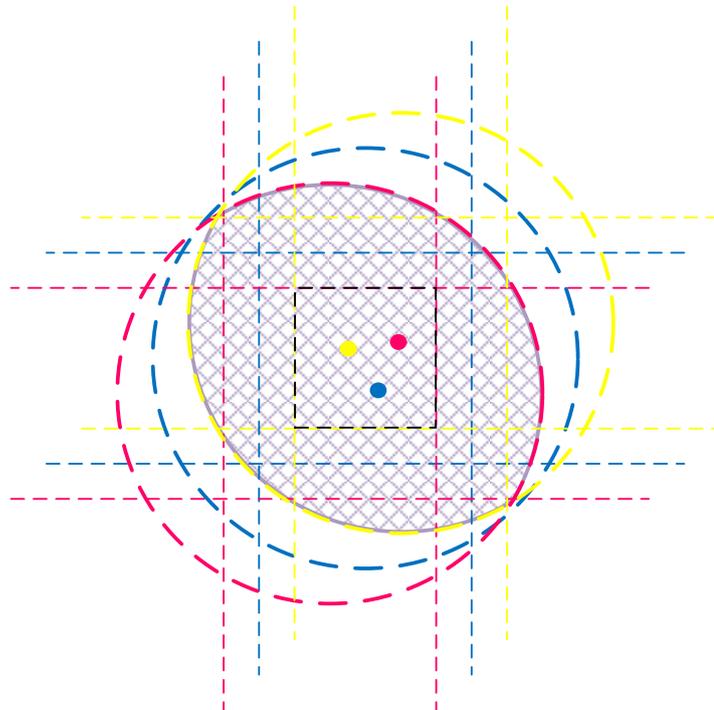


Рисунок 3.20 – Пример совмещения полей допусков для трех красок

То есть необходимо выполнение неравенств вида (3.3) для каждого из трех моноотпечатков и каждого поля допуска.

Таблица 3.4 – Результаты определения отклонений от геометрической формы печатного элемента

№ пп	Рез.	№ пп	Рез.	№ пп	Рез.	№ пп	Рез.	№ пп	Рез.
1	<b>6.555</b>	21	<b>4.774</b>	41	<b>3.893</b>	61	<b>0.962</b>	81	<b>0.917</b>
2	<b>7.112</b>	22	<b>5.064</b>	42	<b>4.929</b>	62	<b>2.756</b>	82	<b>3.943</b>
3	<b>3.742</b>	23	<b>2.929</b>	43	<b>7.123</b>	63	<b>3.664</b>	83	<b>5.636</b>
4	<b>4.615</b>	24	<b>4.42</b>	44	<b>3.287</b>	64	<b>5.352</b>	84	<b>5.208</b>
5	<b>2.827</b>	25	<b>3.195</b>	45	<b>5.468</b>	65	<b>7.241</b>	85	<b>2.067</b>
6	<b>3.915</b>	26	<b>4.667</b>	46	<b>7.307</b>	66	<b>2.627</b>	86	<b>2.885</b>
7	<b>7.122</b>	27	<b>4.919</b>	47	<b>5.035</b>	67	<b>3.897</b>	87	<b>4.595</b>
8	<b>4.126</b>	28	<b>2.257</b>	48	<b>2.627</b>	68	<b>1.585</b>	88	<b>4.07</b>
9	<b>3.87</b>	29	<b>2.216</b>	49	<b>3.897</b>	69	<b>5.213</b>	89	<b>7.232</b>
10	<b>3.456</b>	30	<b>0.403</b>	50	<b>1.585</b>	70	<b>5.421</b>	90	<b>4.412</b>
11	<b>2.07</b>	31	<b>2.622</b>	51	<b>2.756</b>	71	<b>4.38</b>	91	<b>3.649</b>
12	<b>1.735</b>	32	<b>1.422</b>	52	<b>3.664</b>	72	<b>7.099</b>	92	<b>5.636</b>
13	<b>3.708</b>	33	<b>3.881</b>	53	<b>5.352</b>	73	<b>4.786</b>	93	<b>5.537</b>
14	<b>2.126</b>	34	<b>4.024</b>	54	<b>7.241</b>	74	<b>3.893</b>	94	<b>5.044</b>
15	<b>3.743</b>	35	<b>5.167</b>	55	<b>5.213</b>	75	<b>4.929</b>	95	<b>3.431</b>
16	<b>4.345</b>	36	<b>6.673</b>	56	<b>5.421</b>	76	<b>7.123</b>	96	<b>5.389</b>
17	<b>0.641</b>	37	<b>4.147</b>	57	<b>4.38</b>	77	<b>3.287</b>	97	<b>3.444</b>
18	<b>1.887</b>	38	<b>-0.021</b>	58	<b>7.099</b>	78	<b>5.468</b>	98	<b>8.134</b>
19	<b>5.012</b>	39	<b>3.458</b>	59	<b>4.786</b>	79	<b>7.287</b>	99	<b>4.222</b>
20	<b>7.493</b>	40	<b>5.218</b>	60	<b>0.962</b>	80	<b>5.035</b>	100	<b>1.823</b>

Полученные оценки математического ожидания и СКО является случайными, поэтому рассеивание математического ожидания оценивается с помощью среднего квадратического отклонения среднего арифметического (стандартной неопределенности) –  $S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = 0,0380$ . Влиянием систематических

погрешностей от дискретности отсчета и других влияющих факторов пренебрегаем. Доверительная вероятность  $P = 0,95$ .

Наряду с достижением графической точности цветопередачи, не менее важным является обеспечение точности ее цветовых характеристик [132, 133].

В работах [134-136] доказана эффективность реализации программного продукта для ЭВМ для оценки цветовоспроизведения печатной системы.

Результаты апробации реализации предложенного решения представлены в таблице 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Результаты оценки цветового охвата печатных систем

№ Печатной системы	Носитель печатного изображения $Ra$ , мкм	$V_{TЦО}$ , ед. $\Delta E$
1	2,31	80798
2	0,483	122244
3	0,522	94547
4	0,392	147633

Таблица 3.6 – Результаты контроля цветового различия ( $\Delta E$ )

Номер системы воспроизведения	Координаты цвета (Lab).			Оптическая плотность красочной пленки ( $D_{опт}$ )	Измеренные значения координат цвета			Рассчитанные значения координат цвета			Цветовое различие ( $\Delta E$ )
					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

Диаграмма  $a^*b^*$ , характеризующая цветовой охват печатной системы, в диапазоне максимально насыщенных цветов представлена на рисунке 3.21.

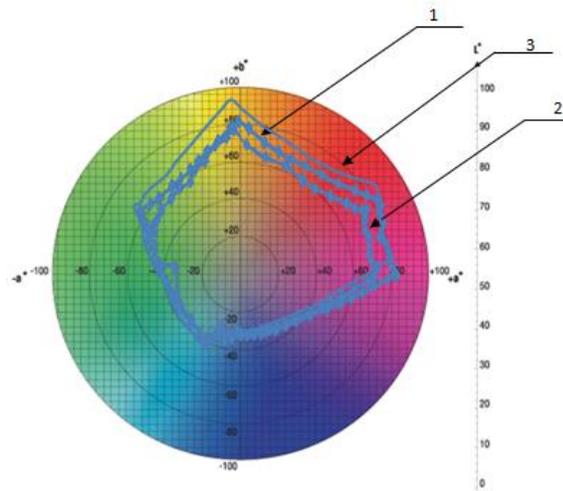


Рисунок 3.21 – Цветовой охват печатных систем: 1, 2 и 3

Программа выполняет следующие функции:

– Интерпретацию данных измерений в равноконтрастном цветовом пространстве МКО Lab-1976 с помощью следующих формул перевода [48, 49]:

Перевод к диапазону [0;1] МКО RGB:

$$R = \frac{r}{255}; G = \frac{g}{255}; B = \frac{b}{255},$$

Перевод координат цветности МКО RGB в МКО XYZ согласно стандарту sRGB [43, 137]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Переход от значений RGB к значениям CMYK осуществляется с помощью выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 1 - \text{MAX}(R, G, B) \\ C = \frac{(1 - R - K)}{(1 - K)} \\ M = \frac{(1 - G - K)}{(1 - K)} \\ Y = \frac{(1 - B - K)}{(1 - K)} \end{array} \right\}.$$

(3.4)

Преобразование значений МКО XYZ в МКО Lab:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a = 500 \left( \left( \frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \\ b = 200 \left( \left( \frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \end{array} \right. \quad (3.5)$$

– Оценка цветового различия ( $\Delta E$ ). Расчёт цветового различия между цветовым пространством осуществляется по стандарту ISO, которые выводятся на график (рисунок 3.22) (см. Приложения 8).

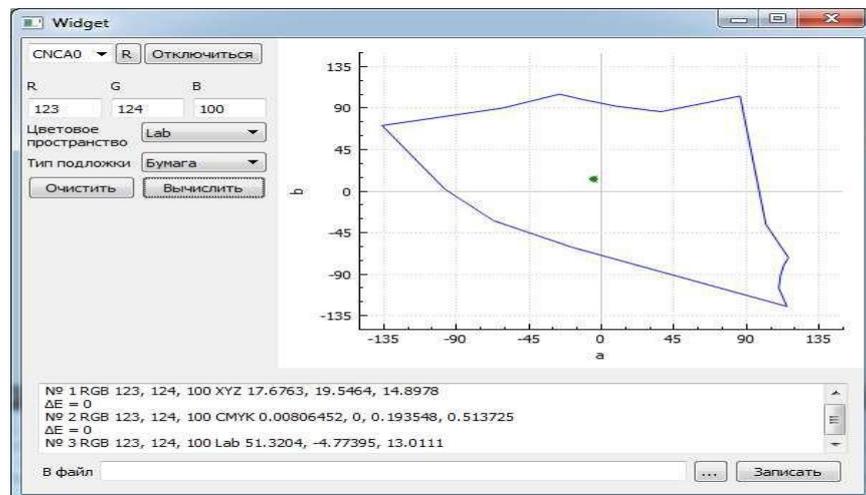


Рисунок 3.22 – Рабочее окно программного продукта

Путем перевода полученных значений уровней яркости цветов RGB в прочие цветовые палитры и цветовые пространства представляется возможным интерпретировать данные измерений в любой удобный вид.

- расчет и визуализация цветового охвата системы воспроизведения цвета;
- экспорт данных измерений в удобные форматы для последующего анализа.

### 3.4 Управление геометрической точностью элементов изделий печатной электроники

Печатная электроника – термин, под которым понимается электроника, создаваемая с использованием печатных способов последовательного послойного нанесения функциональных слоёв заданной архитектуры [138].

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 [139-149].

Для управления качеством ИПЭ важным моментом является точность воспроизведения элементов заданной конфигурации, особенно точность воспроизведения электропроводящих линий шириной от единиц микрометров с чётким контуром и однородной структурой [150-154].

Для определения точности воспроизведения элементов ИПЭ II типа – флексографической печатью и построения системы контроля качества изделий был разработан тест-объект, содержащий области контроля воспроизведения линейных и пиксельных элементов с минимальными размерами 10 и 30 мкм, соответственно; а также области контроля адгезионной прочности скрепления функциональных слоёв с подложкой и межслойного взаимодействия функциональных красок (интермиксинга).

В качестве объектов исследования были выбраны печатные формы, формирование печатных элементов которых различается технологически:

(а) формные пластины Rave проводства MacDermid, масочная технология, плосковершинные печатные элементы (далее, Ф1);

(b) формные пластины Flexcel NX производства Kodak, технология Flexcel NX, плосковершинные дискредитизированные (микрорастированные) печатные элементы (далее, Ф2);

(с) формные пластины DPR производства DuPont, технология Cyrel, с образованием характерных печатных элементов с типичной параболической формой поперечного сечения (далее, Ф3):

Контроль геометрических параметров проводили по микрофотографиям, полученных на оптическом микроскопе Полам Р-312.

На рисунке 3.23 приведены фотографии полей тест-объекта, соответствующих 30 мкм (рисунок 3.23, а-с) и 75 мкм (рисунок 3.23d) пиксельным элементам при увеличении 100х.



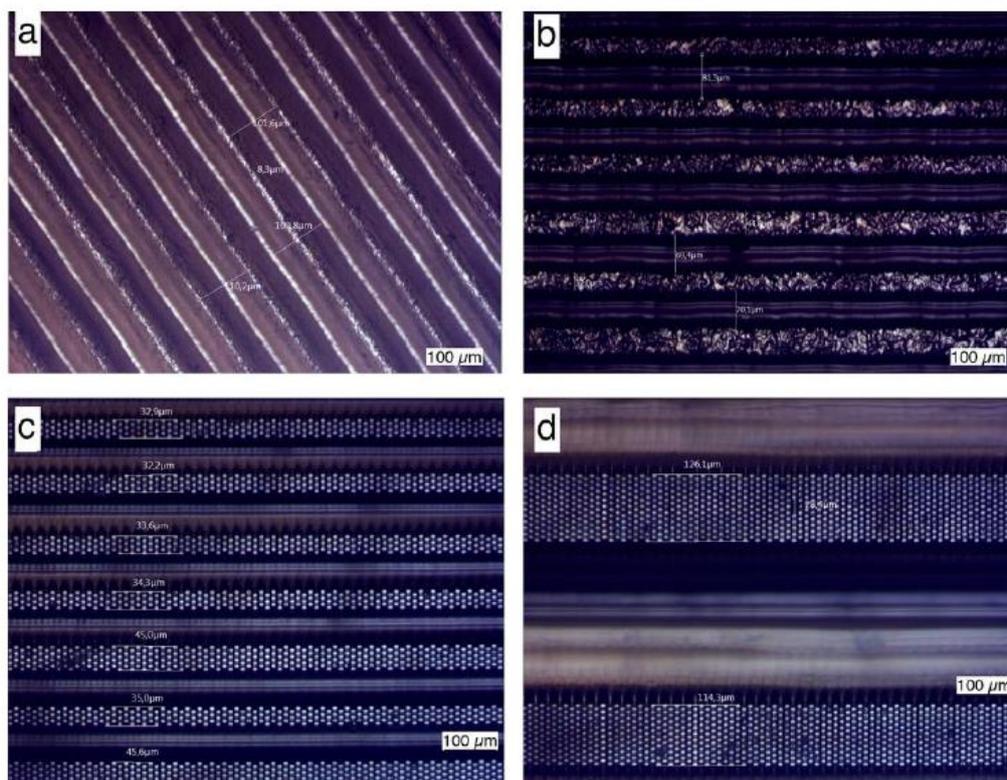


Рисунок 3.24 – Микрофотографии поверхности линейных элементов, где а – Ф3, б – Ф2, с, d – Ф1

- Отсутствие пикселей (Ф2, рисунок 3.24а) и искажение их формы (Ф1, Ф3): наличие сдвоенных элементов (Ф1, Ф3, рисунок 3.24b), отклонение формы от квадратной (Ф1, Ф3, рисунок 3.24d, преимущественно для элементов размерами от 30 до XX мкм). Данная группа дефектов вызовет макроскопическое, визуально заметное нарушение архитектуры изделия, значительное уменьшение его разрешающей способности и в конечном счете его выбраковку;
- Неоднородность структуры поверхности печатных элементов (Ф1, Ф3, рисунок 3.24b), в том числе значительная шероховатость (наличие выраженного рельефа) поверхности пиксельных элементов (Ф3), неравномерность микрорастрирования, а именно стохастическое отсутствие растровых точек на печатных элементах Ф2 – приведет к локальному нарушению и нестабильности работы отдельных пикселей или их группы на микроскопическом уровне;
- Чередование линейных элементов с разной шириной при одной требуемой в рамках исследуемого поля тест-объекта (Ф1) и волнообразная форма линейных элементов (Ф2, Ф3) отразится на значениях напряжения, подаваемого

(или генерируемого, в зависимости от назначения изделия) на отдельную группу пикселей;

Характер зафиксированных дефектов, их распределение и частота возникновения среди исследуемых образцов печатных форм позволяют сделать вывод о целесообразности комбинирования форм, изготовленных по различным технологиям, при последовательной печати электропроводящих и активных (фоточувствительных, люминесцентных и т.д.) элементов ИПЭ одного назначения с учтенным на стадии их подготовки градиентом отклонений линейных размеров в соответствии с заданными архитектурой ИПЭ для обеспечения регламентированной точности их исполнения: допустимое уменьшение ширины проводника не более 20% и допустимое уменьшение расстояния между проводниками не более 30% [150, 155].

Таким образом, контроль качества ИПЭ на стадии изготовления печатных форм должен включать инструменты, позволяющие исключать наличие выделенных групп дефектов на печатных формах для изготовления ИПЭ, в том числе на основе разработки нормативной документальной базы.

### **Выводы по главе 3**

1. Разработанная программа для определения характеристики шероховатости поверхности  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$  и др. отличается оперативностью, возможностью просмотра в виде графиков, построения профиля поверхности по исходным координатам  $x$  и  $y$ . Графики можно просмотреть как отдельно друг от друга, так и с помощью наложения для оценки правильности расчета аналитической функции.

2. Предложенный метод, определения косины листа подложки 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 0,647мм, максимум 1,007мм); для разработанного метода –  $0,835 \pm 0,200$  мм (минимум 0,635 мм, максимум 1,035 мм).

3. Смещение контура растровой точки происходит относительно ее центра неравномерно, что способствует потере полной или частичной потере отдельных элементов изображения. Рассматриваемый подход позволяет оценить не только площадь тест-отпечатка, но и величину смещения относительно задаваемого теста-объекта.

4. Разработан метод оценки графической точности совмещения красок в процессе контроля цветопередачи многослойного изображения наносимого на подложку печатного изделия на основе моделирования и идентификации объекта.

5. Экспериментально доказано, что 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 подложки ввиду повышения точности его определения с применением запатентованного метода.

6. Предложенный подход к измерению смещения слоев печати предоставляет возможность усовершенствовать метод оценки и аппаратные и программные средства многокрасочного изображения. Разработанные программные продукты, позволяющие автоматизировать расчет контролируемых характеристик на материалах печатных изделий, апробированы и внедрены в типографии ООО «Полиграф» и в учебном процессе (см. Приложение 9).

7. На стадии проектирования изделия печатной электроники необходимо учитывать характер прироста линейных размеров элементов в зависимости от требуемого, согласно архитектуре изделия и от пропускаемых через сечение проводящих элементов токов, для чего требуется создать статистически достоверную базу данных характеристик печатных форм в комплексе с параметрами выводных устройств. Обеспечить систему периодического и текущего контроля выбранных форм с помощью минимально необходимого комплекса оборудования (например, состоящего из оптического микроскопа и бесконтактного профилометра) и соответствующих методик [156].

## 4 ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### 4.1 Разработка цветоизмерительного устройства

Ключевыми показателями качества цветовоспроизведения, контролируемые в рамках оперативного контроля на производстве, являются координаты цвета [157]. Однако, при осуществлении контроля нет регламента на количество дискретных элементов автотипного (микроштрихового) изображения формирующих анализируемое поле.

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.

Оценки в системе CIE Lab определяют, как преобразовать физические измерения изображений в ощущаемые различия. Цветовое различие ( $\Delta E$ ) 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 в виду лишь относительной равноконтрастности цветового пространства CIE Lab, и был представлен формулами  $\Delta E_{1994}$  и  $\Delta E_{2000}$ . Данные функции дают лучшую корреляцию изменений ощущаемого цветового контраста и значений цветового различия.

Известен способ и устройство для измерения цвета описанное в патенте US 8817243 B2 от 26.08.2014 г. включающее процессор, дисплей, оптический датчик, источник освещения и оптическую систему, включающую сменные насадки измерительного зонда.

Наиболее новой отечественной разработкой является устройство RU 166344 U1 от 19.01.2016. Устройство включает следующие элементы: корпус, кнопку запуска устройства, источники освещения, светофильтры основных цветов, светочувствительный датчик, кабель передачи сигнала с разъемом питания для подключения к устройству обработки данных, элемент питания. Внутри корпуса установлен контроллер, к которому подсоединены проводами источники освещения, светочувствительный датчик и монохромный экран, предназначенный для отображения данных об измерении параметров цвета образца, разъем USB. Устройство подключено к устройству обработки данных для передачи данных измерения цвета анализируемой окрашенной поверхности, для чего предусмотрен разъем для кабеля передачи сигнала к устройству обработки данных. Корпус выполнен из двух частей: ручки и головки. С внутренней стороны головки корпуса в верхней его части закреплены источники освещения со светофильтрами. Корпус выполнен с функцией использования сменных светоотражающих насадок, которые имеют разный диаметр входного отверстия. На торце ручки расположена петля для крепления ремешка. Для бесперебойной работы устройства предусмотрен элемент питания, который обеспечивает работу источников освещения, контроллера и светочувствительного датчика при отсутствии подключения к внешним источникам питания через разъем USB и разъем питания.

Однако недостатками известных устройств является необходимость снятия/установки сменных насадок для регулирования площади, анализируемой в результате измерения характеристики цвета.

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 производства печатных изделий.

Применение высокотехнологичных приборов и устройств, методов спектрофотометрических и колориметрических измерений для контроля характеристик цветового различия и цветового охвата, эффективны в условиях

крупных предприятий отрасли, для предприятий среднего и особенно малого бизнеса они весьма трудоемки, покупка такого оборудования требует больших затрат, квалифицированных специалистов.

Актуальность разработки вызвана необходимостью анализа колориметрических характеристик низколинейтурных изображений на различных типах запечатываемых материалов, выполненных контактным способом с печатных форм. При таком способе формирования изображения его неоднородность крайне высока. Она может быть визуальнo дерастрирована (различима), что согласно [158, 159] допустимо среднестатистическим наблюдателем со значения линейтуры в 100 лин/см, при этом заметна она становится при гораздо меньших значениях линейтуры растрового изображения. Например, работа с растрами в 35 лин/см при формировании псевдополутонного изображения воспроизводит изображения с различимой, но незаметной растровой структурой.

Ввиду этого был разработан новый подход в управлении, автоматизации контроля и повышение точности оценки цветовоспроизведения на основе совершенствования аппаратной части колориметрического устройства с применением методов объектно-ориентированного программирования, колориметрии, спектрофотометрии и математического моделирования. Решена задача разработки усовершенствованной конструкции цветоизмерительного устройства, позволяющего обеспечить возможность изменения площади анализируемой окрашенной поверхности без снятия/установки отдельных элементов устройства.

В аппаратной части устройства предложена конструкция светоотражающей насадки, которая позволит обеспечить возможность изменения площади анализируемой запечатанной поверхности подложки, визуализации данных измерений параметров цвета при отсутствии подключения к ПК. Используется светоотражающая насадка с изменяемой апертурой.

Светоотражающая насадка с изменяемой апертурой представляет собой цилиндр с одной стороны имеющий резьбовое крепление к одной из сторон

корпуса цветоизмерительного устройства, а с другой стороны механизм лепестковой диафрагмы, в которой рекомендуемое количество лепестков должно быть больше 8, но не более 20 шт. (определено экспериментальным путем для оптимального размера насадки). При этом диапазон изменения диаметра отверстия находится в пределах от 3 мм до 24 мм.

Выбор апертуры от 3 до 24 мм обоснован следующим. Для большинства способов печати рабочим диапазоном линиатур, которыми воспроизводятся всевдополутонные изображения, является диапазон от 50 до 100 лин/см. В этом диапазоне линиатур размер печатного элемента находится в диапазоне значений от 10 мкм до 200 мкм, а если рассматривать диапазон от 10 до 50 лин/см растровые структуры, в котором различимы, но не заметны (с некоторых расстояний), то размер печатающего элемента находится в пределах от 200 мкм до 1 мм. При таком широком разбросе размеров печатающих элементов анализировать колориметрические параметры композитной (из четырех красок минимум) красочной пленки с одним значением апертуры не представляется целесообразным при том, что значение апертуры мало для низколиниатурного изображения и составляет 3 мм. Количество печатных элементов охваченных данной апертурой на разных анализируемых участках изображения будет разным, тогда как общее визуальное впечатление будет идентичным от всей площади изображения.

10 лин/см – 24 мм апертуры – 24 печ.элемента;

80 лин/ см - 3 мм апертуры – те же 24 печ.элемента;

Поэтому справедливо для получения объективной оценки колориметрических параметров с уменьшением линиатуры растра увеличивать апертуру измерительного прибора, чтобы одинаковое (или близкое) количество печатных элементов анализировалось за один измерительный цикл.

Устройства с изменяемой апертурой необходимы для измерения цвета в тех случаях, когда окрашенная поверхность имеет не сплошную окраску или содержит контрастные вкрапления характеризующие морфологию подложки.

Исходя из технических характеристик и требуемых параметров для реализации цветоизмерительного устройства был выбран цветовой датчик **ams AS73211**, схема которого представлена на рисунке 4.1.

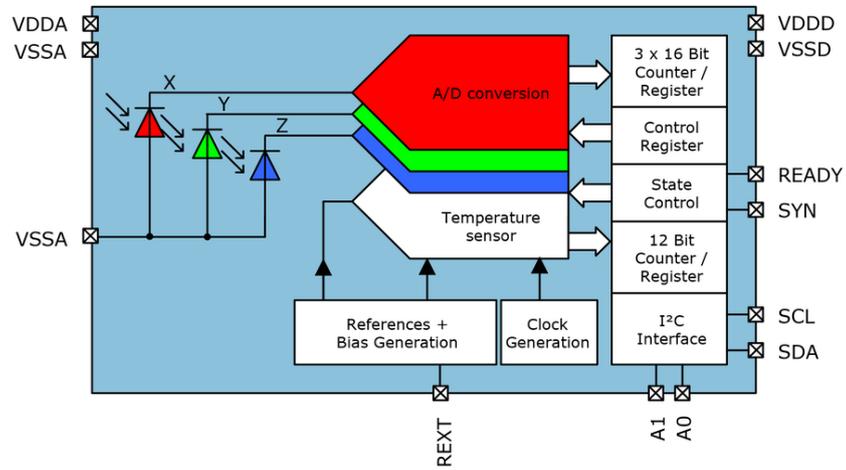


Рисунок 4.1 – Схема датчика AS73211

На рисунке 4.2 изображен внешний вид устройства.

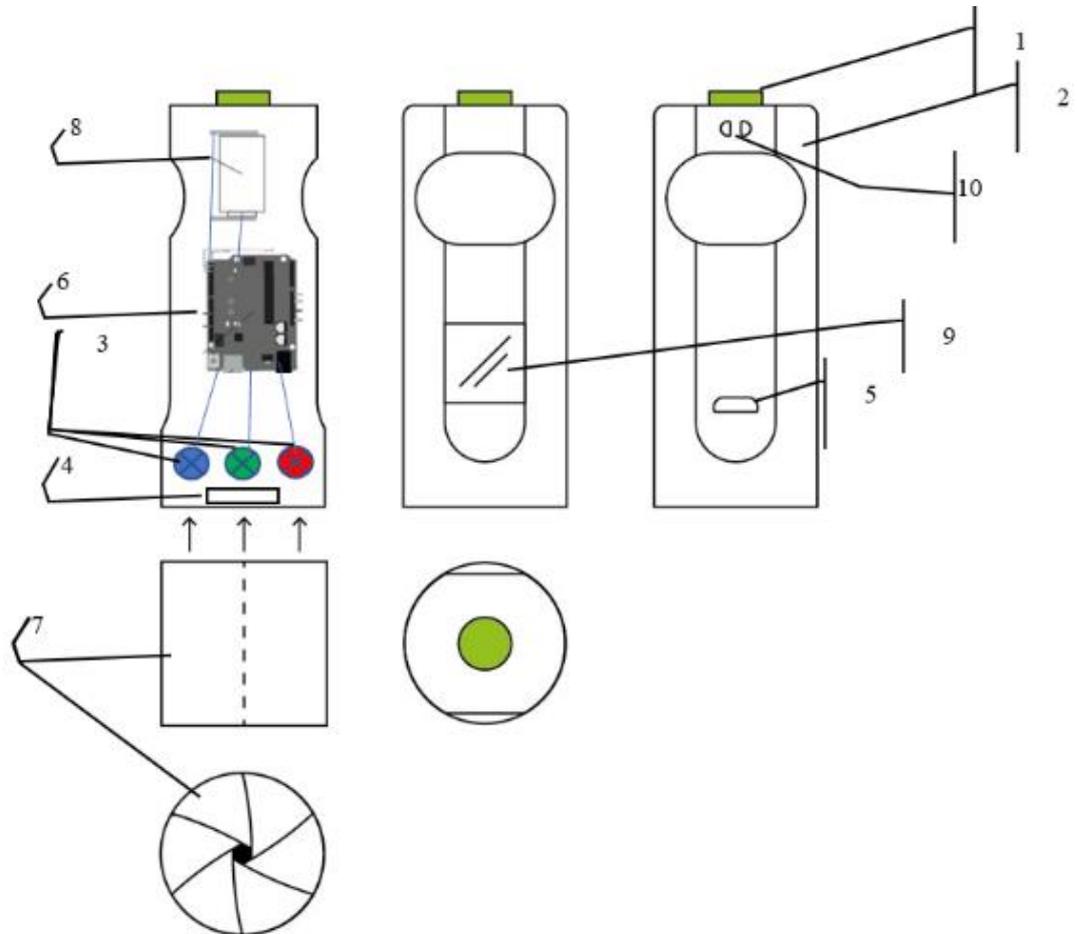


Рисунок 4.2 – Цветоизмерительное устройство

Запатентованное цветоизмерительное устройство (далее «устройство») [160] (см. Приложение 10) содержит кнопку запуска 1, корпус 2, источники освещения 3, светочувствительный датчик 4, разъем USB 5 для подключения кабеля передачи сигнала и подключения к устройству обработки данных, контроллер управления 6 устройством. Корпус 2 выполнен монолитным, с одной его стороны закреплены источники освещения 3 основных цветов. С противоположной стороны на корпусе расположена петля 10 для крепления ремешка, который позволяет повесить устройство при переноске и использовании цветоизмерительного устройства во время автономной работы. С одной из сторон корпуса 2 устройства установлена светоотражающая насадка 7 с переменным диаметром, которая представляет собой цилиндр с одной стороны имеющий резьбовое крепление к корпусу устройства, а с другой стороны механизм лепестковой диафрагмы. Кнопка запуска 1 устройства расположена с противоположной стороны корпуса устройства. Внутри корпуса 2 установлен контроллер 6, к которому подсоединены проводами источники освещения 3, светочувствительный датчик 4 и цветной экран 9, предназначенный для отображения данных об измерении цвета образца в текстовом и графическом виде, элемент питания 8, разъем USB 5. Устройство подключено к устройству обработки данных (компьютер) для передачи данных измерения цвета анализируемой окрашенной поверхности, для чего в корпусе предусмотрен разъем USB 5, для подключения к устройству обработки данных (компьютеру). Бесперебойную работу устройства обеспечивает наличие в корпусе устройства элемента питания 8, который обеспечивает работу источников освещения 3, контроллера 6 и светочувствительного датчика 4 при отсутствии подключения к внешним источникам питания через разъем USB 5. Элемент питания 8, позволяет осуществлять работу аппаратной части устройства без подключения через USB разъем 5 к компьютеру или иному источнику питания. Наличие контроллера 6, осуществляющего управление аппаратной частью комплекса, обеспечивает возможность интерпретации данных измерений и выведения их на цветной экран 9 в текстовом и графическом виде, программная часть комплекса позволяет

осуществлять оценку цветового охвата системы воспроизведения. Возможность регулировки площади анализируемой окрашенной поверхности осуществляется за счет изменения диаметра отверстия цилиндрической насадки 7. Регулирование выполняется за счет вращения цилиндрической насадки вокруг оси цилиндра. Насадка с изменяемым радиусом отверстия для регулирования анализируемой окрашенной площади от 3 мм до 24 мм представлена на рисунке 4.3.

Устройство работает следующим образом. Устройство устанавливается к исследуемой поверхности стороной, на которой закреплена цилиндрическая насадка с изменяемым диаметром отверстия.

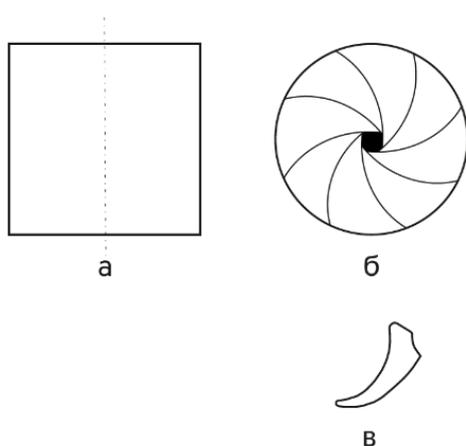


Рисунок 4.3 – Насадка с изменяемым радиусом отверстия: а – вид сбоку, б – вид в промежуточном состоянии отверстия от 3 до 24 мм, в – отдельный лепесток диафрагмы для регулирования анализируемой площади окрашенной поверхности

С помощью диафрагмы устанавливается необходимый размер отверстия в пределах от 3 до 24 мм. При нажатии кнопки запуска устройства начинают работать источники освещения, которые освещают исследуемую поверхность и свет, отраженный от исследуемой поверхности попадет на светочувствительный датчик, далее согласно алгоритму расчета, результаты измерения отобразятся на цветном экране в текстовом, а также в графическом виде на диаграмме цветности. Для обеспечения точности измерения и оценки неопределенности измерения процесс повторяется до 5 раз.

Подключение кабеля через разъем USB переносит результаты в текстовом формате .txt на компьютер для последующего анализа. При смене анализируемой поверхности можно изменить диаметр отверстия, не снимая насадки, вращая цилиндр насадки относительно корпуса устройства.

## 4.2 Результаты апробации цветоизмерительного устройства для контроля колориметрических характеристик печатных изделий

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 (рисунок 4.4), спектральных характеристик (рисунок 4.5).

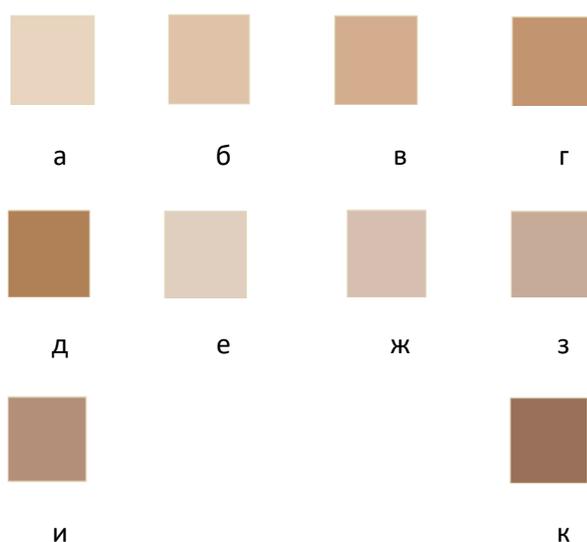


Рисунок 4.4 – Образцы цвета (наименования даны буквенно-цифровыми кодами системы спецификации цветов Pantone палитра solid coated): а) 4685С б) 4675С в) 4665С г) 4655С д) 4645С е) 4755С ж) 4745С з) 4735С и) 4725С к) 4715С

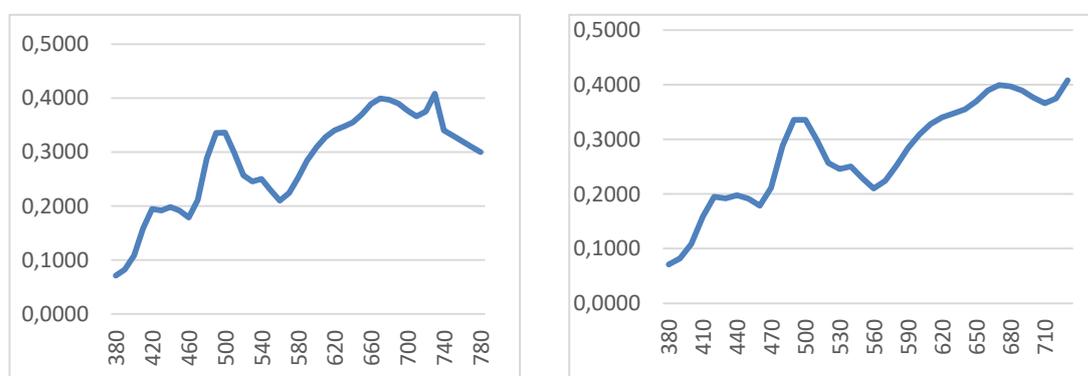


Рисунок 4.5 – Спектральная характеристика объекта  
4685С  
4735С

Для объективного объяснения факта, что изменение анализируемой площади приведет 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 может определяться по среднему отклонению значения цветового различия:

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

В таблице 4.1 представлены колориметрические характеристики красочной пленки., определенные стандартным методом с помощью цветоизмерительного прибора, описанного в патенте RU 2021122745 [160] в условиях стандартной для полиграфической отрасли апертуры измерения в 4 мм.

Таблица 4.1 – Колориметрические характеристики красочной пленки, определенные стандартным методом

№	Наименование цвета по Pantone Coated	Координаты цвета эталонные			Координаты цвета фактические			Цветовое различие, $\Delta E$
		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 (таблица 4.2).

Согласно формуле и значениям в таблице 4.2 индекс отклонения координат апертуры 20 мм составляет 85,4 %.

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 ( $\Delta E$ );
- экспорт данных измерений в удобные форматы для последующего анализа.

Таблица 4.2 – Расчетные значения координат цвета МКО Lab с учетом индекса отклонения координат

№	Наименование цвета по Pantone Coated	Координаты цвета эталонные			Координаты цвета фактические			Цветовое различие, $\Delta E$
		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

В работе также проведено исследование влияния частоты (линиатуры) раstra микроштрихового изображения на регистрируемые значения колориметрических параметров – координат МКО Lab-1976. В качестве гипотезы представлено утверждение о повышении точности колориметрических измерений при изменении апертуры колориметра-спектрофотометра с учетом частоты (линиатуры) раstra. Это обусловлено тем, что наличие приборов оперативного контроля цветовоспроизведения не только на производстве, но и у всех субъектов рынка значительно упрощает согласование цветопробы, однако требует квалификации оператора контрольно-измерительного оборудования как при проведении измерения, так и при интерпретации результатов работы. Согласно стандарту [161] регламентировано значение линиатуры раstra оттиска в интервале 40-60 лин/см и замеры прочих характеристик ориентированы именно на подобные значения частоты расположения дискретных элементов. Стандарт

[162] регламентирует использование стандартных колориметров или спектрофотометров для оценки цвета текстильных материалов, при этом относительно апертуры рекомендаций по размерам не дано. Стандарт [163] также не регламентирует количество отдельных элементов в апертуре прибора.

Рабочий диапазон линиатур, которыми воспроизводится псевдополутонные изображения от 50 до 100 лин/см (размер печатного элемента от 10 до 200 мкм). В диапазоне от 10 до 50 лин/см, растровые структуры в котором различимы, но не заметны (с некоторых расстояний), размер печатающего элемента находится в пределах от 200 мкм до 1 мм.

При широком разбросе значений размеров печатающих элементов анализировать колориметрические параметры композитной, (из 4 красок минимум) красочной пленки с одним значением апертуры не представляется целесообразным, значение апертуры мало для анализа низколиниатурного изображения для отдельных типов оборудования составляет 3 мм.

Для решения данной проблемы существует ряд подходов. Многие производители оборудования снаряжают аппаратные средства контроля набором насадок разного диаметра и формы, как в устройстве PCE-CSM 5. В работе [164] предложено рассмотрение влияния факторов поверхности материала на значение координат цвета красочной пленки, нанесенной на его поверхность. Также точность воспроизведения растровой точки обсуждается сообществом в контексте определения колориметрических параметров оттиска и моделирования размеров точки и сетки в целом [165]. Однако, работ, направленных на решение обратной задачи как определение оптимальной апертуры контрольно-измерительной аппаратуры для количественной оценки координат цвета красочной пленки в ходе анализа не выявлено.

Цвет однозначно описывается психологическими характеристиками цветового тона, насыщенности и светлоты, которые однозначно можно описать с помощью колориметрических систем [166]. При описании предметных цветов важную роль играют условия освещения и характеристики наблюдателя:

– Формула оценки координат цвета формируемого самосветящейся системой:

$$x' = \int \varphi(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda; y' = \int \varphi(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda; z' = \int \varphi(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda,$$

где  $\varphi(\lambda)$  – спектральная плотность потока (мощность) самосветящегося объекта;  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  – ординаты кривых сложения, комплексно характеризующие наблюдателя (стандартный колориметрический наблюдатель МКО-1931). Однако, работая с печатным изображением, оценка его цветовых параметров должна проводиться через анализ отраженного от подложки светового потока.

$$x' = \int \varphi_0(\lambda)\rho(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda; y' = \int \varphi_0(\lambda)\rho(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda; z' = \int \varphi_0(\lambda)\rho(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda,$$

где  $\rho(\lambda)$  – спектральный коэффициент отражения непрозрачного объекта.

Однако прямой или косвенный аппаратный контроль цветовоспроизведения реализуется в промышленности системно не более 30 лет. Аппаратный контроль цветовоспроизведения в полиграфии входит в промышленность через косвенные измерения оптической плотности, которые регламентированы стандартом международными национальными стандартами [167, 168].

Аппаратный контроль использует для оценки параметров цветовоспроизведения значения координат МКО Lab-1976. Переход от координат XYZ к Lab реализуется через формулы:

$$L^* = 116 \cdot f\left(\frac{y'}{y'_{0'}}\right) - 16; a^* = 500 \cdot \left(f\left(\frac{x'}{x'_{0'}}\right) - f\left(\frac{y'}{y'_{0'}}\right)\right);$$

$$b^* = 200 \cdot \left(f\left(\frac{y'}{y'_{0'}}\right) - f\left(\frac{z'}{z'_{0'}}\right)\right),$$

$$\text{где } f(I) = \begin{cases} I^{1/3}, I > 0,008856 \\ 7,7871 + \frac{16}{116}, I \leq 0,008856 \end{cases}$$

Допускается отклонение от стандартных значений на несколько единиц цветового различия  $\Delta E$ , которое рассчитывается как разница между точками в равноконтрастном цветовом пространстве ( $\Delta E_{76}$ ) и с учетом неоднородности цветового пространства ( $\Delta E_{00}$ ) [169]. Стандарты регламентируют отклонение по-

разному, мы в данной работе будем ориентироваться на значения 5 ед.  $\Delta E$  в соответствии с [157].

Тест-объект (рисунок 4.6) выполнен в виде набора микроштриховых изображений (размер поля 10 мм) одного цвета разной линиатуры от 5 до 25 лин/см, расположенных продольно ( $0^\circ$ ), поперчено ( $90^\circ$ ) и под углом в  $45^\circ$  на плоскости бумажного листа.

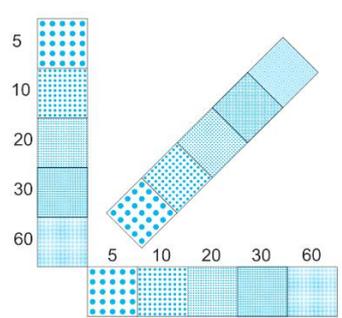


Рисунок 4.6 – Тест-объект для контроля влияния апертуры измерения координат цвета значения координат цвета окрашенной поверхности

Измерения цветовых координат производились с разными апертурами 1 (один), 2 (два), 3 (три), 5 (пять) мм с помощью цветоизмерительного устройства, выполненного в рамках НИР №22111В в Омском государственном техническом университете в рамках реализации программы «Приоритет 2030» на основе работы [160]. Датчик в устройстве AS73211 - JENCOLOR Digital XYZ Sensor. Для выполнения цветовых измерений – методика спектрофотометрии в соответствии с DIN 5033 и DIN 6174 с параметрами работы устройства: Источник света – D50 (5000 К); Угол обзора –  $2^\circ$ ; Стандарт белого – относительно бумаги; Геометрия измерений –  $45^\circ/0$ .

Для выполнения цветовых расчетов цветового различия – использована формула ( $\Delta E_{76}$ ) [169]. Для моделирования низколинейтурного оттиска трафаретной печати применен струйный принтер Mimaki UJF 3042-HG для печати, отверждаемыми ультрафиолетом, красками LH-100. Материал основы для формирования шкалы: бумага мелованная. Растр полутоновый, регулярный, угол поворота 45 градусов, форма растровой точки – круглая. Линиатура раstra тестовых полей: 5 лин/см; 10 лин/см; 15 лин/см; 20 лин/см; 25 лин/см. Исходные координаты цвета окрашенного объекта:  $L=82$ ,  $a=-9$ ,  $b=-21$ ;

В таблицах 4.3, 4.4 представлены результаты оценки значений координат цвета МКО Lab – 1976 полей тест-объекта. Для сравнения результатов измерений используем данные, полученные с помощью прибора X-Rite Spectro Eye.

Таблица 4.3 – Результаты оценки координат цвета объектов

Образец цвета на шкале	Координаты цвета исходные			Координаты цвета фактические, апертура 5 мм			Координаты цвета фактические, апертура 3 мм			Координаты цвета фактические, апертура 2 мм		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-5	82	-9	-21	95	-2	-4	95	-2	-4	81	-8	-17
0-10	82	-9	-21	86	-6	-12	86	-7	-13	90	-5	-9
0-20	82	-9	-21	78	-14	-23	79	-14	-22	81	-12	-20
0-30	82	-9	-21	72	-21	-30	73	-20	-30	79	-15	-24
0-60	82	-9	-21	63	-31	-41	64	-31	-41	68	-26	-35
90-5	82	-9	-21	94	-2	-5	95	-2	-4	86	-5	-12
90-10	82	-9	-21	88	-6	-12	86	-6	-12	90	-5	-10
90-20	82	-9	-21	82	-11	-19	81	-12	-20	83	-11	-18
90-30	82	-9	-21	76	-17	-26	76	-19	-27	79	-15	23
90-60	82	-9	-21	66	-28	-38	67	-27	-37	70	-23	-32
45-5	82	-9	-21	95	-2	-5	92	-3	-7	96	-1	-3
45-10	82	-9	-21	88	-6	-11	86	-6	-13	88	-5	-11
45-20	82	-9	-21	79	-13	-22	80	-12	-21	83	-11	-18
45-30	82	-9	-21	73	-22	-31	73	-21	-30	77	-17	-25
45-60	82	-9	-21	64	-30	-41	64	-30	-40	68	-25	-35

Таблица 4.4 – Результаты оценки координат цвета объектов

Образец цвета на шкале	Координаты цвета фактические, апертура 1 мм			Цветовое различие, $\Delta E_{00-5}$	Цветовое различие, $\Delta E_{00-3}$	Цветовое различие, $\Delta E_{00-2}$	Цветовое различие, $\Delta E_{00-1}$
	L	a	b				
1	14	15	16	17	18	19	20
0-5	64	-18	-33	21	16	10	5
0-10	91	-4	-8	23	4	23	23
0-20	81	-12	-20	17	15	9	10
0-30	80	-15	-22	3	3	6	7
0-60	72	-21	-30	6	7	17	18
90-5	100	0	0	18	26	35	35
90-10	91	-5	-9	29	11	23	21
90-20	85	-11	-16	16	14	10	11
90-30	81	-14	-20	6	4	3	3
90-60	72	-16	-26	5	45	13	11
45-5	83	-7	-15	13	21	28	30
45-10	96	-3	-5	6	24	18	22
45-20	84	-10	-16	22	12	9	12
45-30	78	-14	-23	5	4	4	5
45-60	72	-19	-28	7	10	17	19

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью функции моделирование экспериментов (DoE) программы Statistica. Поверхность отклика принимает вид, представленный на рисунке 4.7, анализ которой показывает область минимального отклонения координат цвета от заданных при измерении, что соответствует апертуре 2,2 мм и линиатуре 45 лин/см.

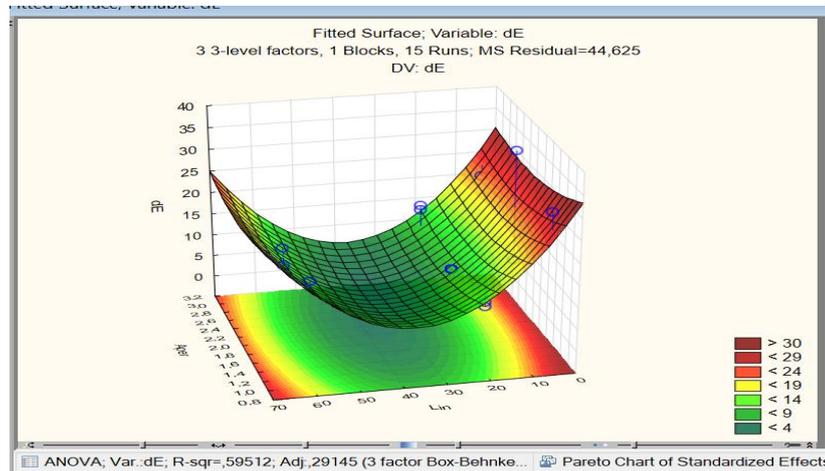


Рисунок 4.7 – Поверхность отклика взаимодействия параметров линиатуры и апертуры измерения и цветового различия координат цвета оцениваемых экспериментально

Согласно, данным анализа рисунка 4.8 (Pareto chart), наибольшее воздействие на параметр оптимизации, в качестве которого выступает цветовое различие  $\Delta E$  оказывает линиатура раstra изображения.

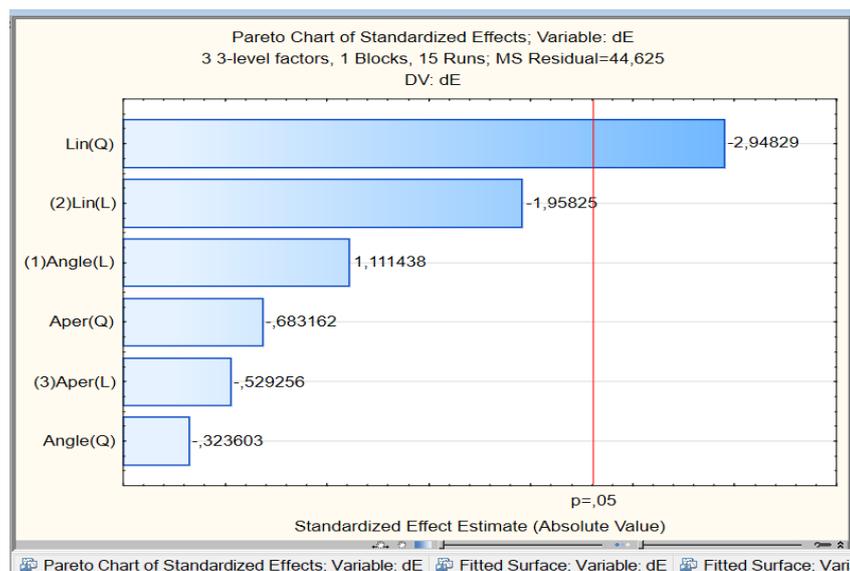


Рисунок 4.8 – Распределение Парето значимости отдельных факторов (Pareto chart)

Используя данные графической интерпретации взаимодействия по всем трем параметрам, можно утверждать (рисунок 4.9), что область оптимальных значений измерений цветового различия (от 3,5 до 7 ед. ΔE) находится в пределах значения апертуры в 2 мм, значения линиатуры раstra 26,667 лин/см и угол наклона растровой структуры 45 градусов.

При этом угол наклона растровой структуры имеет незначительное воздействие на измеренное значение цветового различия, а линиатура раstra наибольшее воздействие.

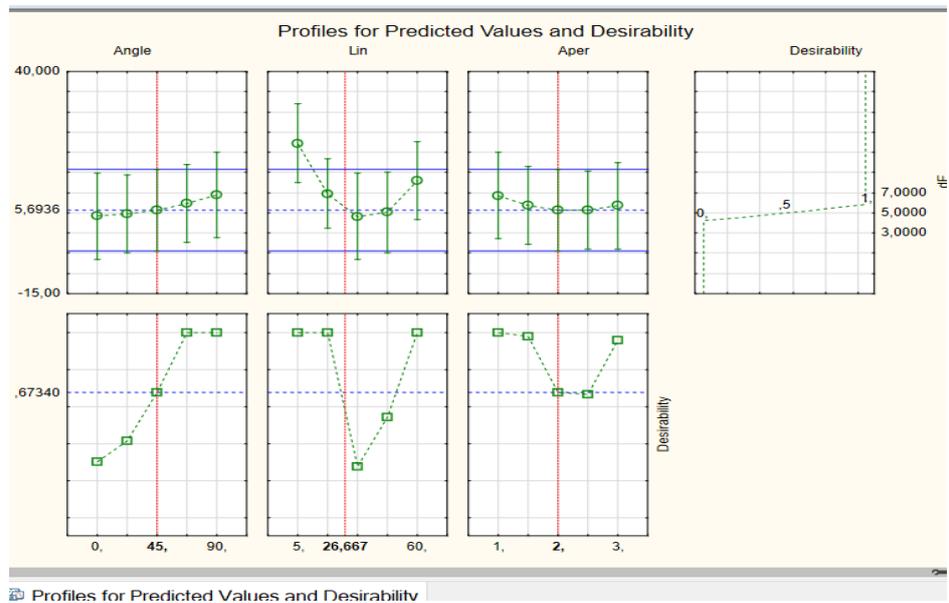


Рисунок 4.9 – Область оптимальных значений цветового различия

Рекомендованное минимально соотношение между апертурой измерения цветовых параметров и дискретностью изображения, описанной значением линиатуры раstra составляет:  $Lin = Aper \times 2,6$ . При таком подходе минимальным значением дискретности при котором представляется возможность использовать стандартное оборудование с апертурой в 5 мм является 13 лин/см, что соответствует, например, изображению на текстиле сформированного через «грубую» трафаретную сетку с линиатурой в 40 лин/см [170].

Преимущества предложенного устройства подтверждаются его мобильностью обеспечением автономной работы и возможностью изменения площади анализируемой окрашенной поверхности подложки, визуализации, интерпретацией данных измерений параметров цвета при отсутствии подключения к ПК.

## Выводы по главе 4

1. Предложенное цветоизмерительное устройство позволяет провести количественный и качественный анализ цветовых параметров окрашиваемой поверхности печатных изделий, а также делает возможным выполнение работы как в условиях подключения к компьютеру, так и в автономном режиме с возможностью последующего переноса данных на ПК.

2. 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.

3. Цветоизмерительное устройство, отличающееся тем, что интерпретация данных измерений и выведение их на цветной экран выполняется в графическом виде.

4. Установлено, что изменение площади анализируемой поверхности в совокупности с изменением параметров расчетов координат цвета, позволило повысить точность контроля: показателя цветового различия на 9%. Реализовано в пат. RU 2021122745 от 15.10.2021;

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена приоритетная задача, имеющая первостепенное значение, для страны в плане импортозамещения, повышения объективности и точности контролируемых характеристик печатных изделий за счет автоматизации обработки результатов измерений, создания новых методов и устройства для контроля.

Разработаны методы, программное обеспечение и устройство для контроля характеристик печатных изделий, способствующее автоматизации контроля, снижению трудоемкости за счет сокращения время контроля, позволяющие повысить объективность и как следствие, качество печатных изделий с учетом их индивидуальности, а также решать проблему импортозамещения.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан метод определения красковосприятости материала, в основе которого на 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 подложки. Расчет осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения, что позволяет сократить время контроля в 10 раз (с суток до нескольких часов).

2. Предложен алгоритм геометрической интерпретации модели цилиндров печатного аппарата, отличительная особенность которого заключается в учете информативности элементов, координатных плоскостей и осей координат, материализованных комплектами баз объекта исследования.

3. 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 и характеристики краскопереноса с точностью до 0,001, способствует повышению экологической безопасности и вносить корректирующие поправки.

4. Разработанная программа для определения характеристики шероховатости поверхности  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$  и др. отличается оперативностью, возможностью просмотра в виде графиков, построения профиля поверхности по исходным координатам  $x$  и  $y$ .

5. Предложенный метод, определения косины листа подложки 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 0,647мм, максимум 1,007мм); для разработанного метода –  $0,835 \pm 0,200$  мм (минимум 0,635 мм, максимум 1,035 мм).

6. 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 подложки ввиду повышения точности его определения с применением запатентованного метода.

7. 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%.

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

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сурашов, Н. Т. Теория цвета и цветовоспроизведения : учеб. пособие / Н. Т. Сурашов, А. В. Вавилов, Д. Е. Елемес. – Алматы : КазНТУ, 2014. – 241 с. – ISBN 978-601-228-631-1.
2. Контроль качества допечатной подготовки изданий // КомпьюАрт. – URL: <https://compuart.ru/article/22838>.
3. Громько, И. Г. Технология допечатных и печатных процессов : учеб. пособие для студентов специальностей «Издательское дело», «Информационные системы и технологии (издательско-полиграфический комплекс)» / И. Г. Громько, М. И. Кулак. – Минск : БГТУ, 2011. – 252 с. – ISBN 978-985-530-062-6.
4. Солонец, В. И. Печатное оборудование как объект автоматизации / В. И. Солонец, А. П. Фролов // Современное машиностроение. наука и образование. – 2012. – № 2. – С. 690–695.
5. Ивашко, К. С. Система определения качества печатной продукции / К. С. Ивашко, В. Н. Пигуз // Научный периодический электронный рецензируемый журнал «Sci-Article.ru». – 2018. – № 59 (июль). – URL : <http://sci-article.ru/stat.php?i=1531809657>.
6. Chuang, C. P. Developing a prototype of quality control expert system for offset printing dot variations troubleshooting / C. P. Chuang, F. P. Lai // In TAGA 1997: Proceedings – disseminating graphic arts research internationally since 1948, TAGA, Quebec City, Canada. – P. 528–542.
7. Automated real-time visual inspection system for high-resolution superimposed printings / F. Torres, J. M. Sebastian, R. Aracil, L. M. Jimenez, O. Reinoso. – DOI: 10.1016/S0262-8856(98)00059-6 // Image and Vision Computing. – 1998. – Vol. 16, Issues 12–13. – P. 947–958.
8. Патент № 2109340 Российская Федерация, МПК G 06 K 9/64, B 41 F 33/00. Способ оценки печатных изображений на носителе / А.Б.-Ш. Клаус, Б.-Ш. Ханс-Бернхард, Й. Г. Альбрехт; заявитель и патентообладатель Кениг унд Бауэр АГ – № 5052831/09 ; заявл. 11.08.1992 ; опубл. 20.04.1998.

9. Патент № 2109341 Российская Федерация, МПК G 06 K 9/64, В 41 F 33/00. Способ осуществления контроля качества изображений : № 5052832/09 : заявл. 11.08.1992 : опубл. 20.04.1998 / А. Б.-Ш. Клаус, Г. Ш. Йоханнес ; заявитель и патентообладатель Кениг унд Бауэр АГ.

10. Bayesian network model of overall print quality: Construction and structural optimisation / T. Eerola, L. Lensu, J.-K. Kamarainen, T. Leisti [et al.]. – DOI: 10.1016/j.patrec.2011.04.006 // Pattern Recognition Letters. – 2011. – Vol. 32, Issues 11. – P. 1558–1566.

11. Print quality test page / W. Jang, M. C. Chen, J. P. Allebach, G. T. C. Chiu // Journal of Imaging Science and Technology. – 2004. – Vol. 48(5). – P. 432–446.

12. Голунов, А. В. Метод аналитического интегрирования для расчета объема тела цветового охвата / А. В. Голунов // Визуальная культура: дизайн, реклама, информационные технологии : материалы X Междунар. науч-практ. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – С. 146–148.

13. Willert, A. Spectral based colour reproduction workflow / A. Willert, M. Flaspohler, A. C. Hubler // In Proceedings of the 33th international research conference of iaigai / international association of research organization for the information media and graphic arts industries, advances in printing science and technology, IARIGAI, Leipzig, Germany. – 2006. – Vol. 33. – P. 369–379.

14. Low cost LED based spectrophotometer / L. K. Mestha, F. F. Hubble, T. L. Love, G. Skinner [et al.] // In ICIS'06: International congress of imaging science, final program and proceedings—linking the explosion of imaging applications with the science and technology of imaging. – 2006. – P. 95–98.

15. Jang, W. Simulation of print quality defects / W. Jang, J. P. Allebach // Journal of Imaging Science and Technology. – 2005. – Vol. 49(1). – P. 1–18.

16. Antoine, C. A robust thresholding algorithm for halftone dots / C. Antoine, M. D. Lloyd, J. Antoine // Journal of Pulp and Paper Science. – 2002. – Vol. 27(8). – P. 268–272.

17. Bergman, L. Unsupervised colour image segmentation applied to printing quality assessment / L. Bergman, A. Verikas, M. Bacauskiene // *Image and Vision Computing*. – 2005. – Vol. 23(4). – P. 417–425.
18. Application of a 3-CCD colour camera for colourimetric and densitometric measurements / D. Brydges, F. Deppner, H. Kunzli, K. Heuberger [et al.] // *In SPIE proceedings*. – 1998. – Vol. 3300. – P. 292–301.
19. Perner, P. Knowledge-based image inspection system for automatic defect recognition, classification and process diagnosis / P. Perner // *Machine Vision and Applications*. – 1994. – Vol. 7. – P. 135–147.
20. Trepanier, R.J. Specific perimeter: A statistic for assessing formation and print quality by image analysis / R. J. Trepanier, B. D. Jordan, N. G. Nguyen // *TAPPI Journal*. – 1998. – Vol. 81(10). – P. 191–196.
21. Study for the offset printing quality control expert system based on case reasoning / L. M. Guan, J. Lin, G. J. Chen, M. Chen // *In Proceedings of the 2006 IEEE/ASME international conference on mechatronic and embedded systems and applications*. – 2006. – P. 272–276
22. Process and arrangement for controlling or regulating operations carried out by a printing machine / H. Kipphan, W. Geissler, G. Fischer, W. Huber, B. Kistler, G. Bucher, C. Rensch // *US Patent 6050192*, filed April 29, 1996, and issued April 18, 2000.
23. Brown, N. Machine vision in conjunction with a knowledge-based system for semi-automatic control of a gravure printing process / N. Brown, M. R. Jacksson, P. E. Bamforth // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. – 2004. – Vol. 218(4). – P. 583–593.
24. Brown, N. Automatic gravure print feature determination at production speeds / N. Brown, M. R. Jackson, R. M. Parkin // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture*. – 2003. – Vol. 217(8). – P. 1101–1110.
25. Advances in computational intelligence-based print quality assessment and control in offset colour printing / A. Verikas, J. Lundström, M. Bacauskiene, A.

Gelzinis // *Expert Systems with Applications*. – 2011. – Vol. 38, Issue 10. – P. 13441-13447.

26. Asikainen, R. Quality Analysis of a Printed Natural Reference Image. Master's Thesis, Aalto University, Finland. – 2010. – 121 p.

27. Lundström, J. Assessing print quality by machine in offset colour printing / J. Lundström, A. Verikas // *Knowledge-Based Systems*. – 2013. – Vol. 37. – P. 70-79.

28. Борисенко, Е. А. Оценка качества полиграфических продуктов: измерение параметров увеличения тона оттисков методом рефлектометрии / Е. А. Борисенко, Е. Л. Виноградов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. – 2013. – №3 (178). – С. 287–293.

29. Гуца, А. С. Статистическая модель интегрированного показателя оценки технологичности печатной упаковочной продукции / А. С. Гуца, Н. Э. Трусевич // *Труды БГТУ*. – Минск : БГТУ, 2015. – № 9 (182). – С. 66–71.

30. Дыдышко, С. И. Метод контроля качества печатной продукции, основанный на анализе цифровой модели изображения / С.И. Дыдышко // *Труды БГТУ. Серия 4: Принт- и медиатехнологии*. – 2008. – № 9. – С. 1–4.

31. Ozaki, Y. Visualisation of printing of ink vehicle on paper surfaces by a SEM technique / Y. Ozaki, M. Kimura // *Appita J.* – 2000. – № 3. – P. 216–219.

32. Visualisation of the distribution of offset ink components printed onto coated paper / H. Koivula, J. S. Preston, P. J. Heard, M. Toivakka // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2008. – Vol. 317, Issues 1-3. – P. 557–567.

33. Ercan, S.N. The influence of process parameters on filament size distribution / S.N. Ercan // *An Abstract of the Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (in Chemical Engineering)*. – 2001. – 181 p.

34. Huang, W.-X. Simulation of liquid transfer between separating walls for modeling micro-gravure-offset printing / W.-X. Huang, S.-H. Lee, H.J. Sung, T.-M. Lee, D.-S. Kim // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. – 2008. – Vol. 29(5). – P. 1436–1446.

35. Reis Jr., N.C. Numerical simulation of the impact of liquid droplets on porous surfaces / N.C. Reis Jr., R.F. Griffiths, J.M. Santos // *J. Comput. Phys.* – 2004. – Vol. 198. – P. 747–770.
36. Vlachopoulos, G. Ink mist formation in roller trains / G. Vlachopoulos, T. Claypole, D. Bould // *IARIGAI 2010 proceedings: Advances in printing and media technology.* – 2010. – Vol. 37. – P. 227–234.
37. Claypole, J. Control of breakup of ink filaments in offset printing / J. Claypole, P.R. Williams, D. Deganello // *IARIGAI 2012 proceedings: Advances in printing and media technology.* – 2012. – Vol. 39. – P. 207–211.
38. Варепо, Расщепление краски на выходе из зоны печатного контакта / Л.Г. Варепо, А.В. Паничкин, В.И. Бобров // *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2013. – Вып. 3.– С. 189–194.
39. Халилов, И. Явление пыления краски с учетом шероховатости поверхности офсетной печатной формы / И. Халилов, Э. Алиев, Э. Гусейнзаде // *Проблеми охорони праці в Україні.* – 2021. – № 37(2). – С. 16–24.
40. Морфлюк, В. Ф. Метод цифрового определения параметров моделирования совмещения красок в листопередающей системе печатных машин / В. Ф. Морфлюк, И. С. Карпенко, В. В. Чуркин // *Труды БГТУ. Серия 4: Принт- и медиатехнологии.* – 2016. – № 9 (191). – С. 22–28.
41. Патент № 2161792 Российская Федерация, МПК G 01 N 21/88, В 41 F 33/00. Способ получения эталонной модели для автоматического контроля качества печати изображения на бумаге : № 96104359/28 : заявл. 06.03.1996 : опубл. 10.01.2001 / Л. Стринга ; заявитель и патентообладатель Де Ла Рю Жиори С.А.
42. Патент № 219117 Российская Федерация, МПК В 41 F 33/00, G 01 J 3/46, G 06 K 9/64. Способ автоматического контроля качества печати многоцветного изображения : № 97104178/28 : заявл. 20.03.1997 : опубл. 20.10.2002 / Л. Стринга ; заявитель и патентообладатель Де Ла Рю Жиори С.А.
43. Method of calculation volume of the color gamut body / L. G. Varepo, A. V. Golunov, A. S. Golunova, 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.

44. Патент № 2405130 Российская Федерация, МПК G01J 3/00. Цветоизмерительное устройство и способ измерения и калибровки цвета с его использованием : № 2009112261/28 : заявл. 31.03.2009 : опубл. 27.11.2010 / О. К. Никифоров.

45. Патент № 2237922 Российская Федерация, МПК G 06 K 9/00. Автоматический контроль качества печати при помощи эластичного шаблона : № 99119327/12 : заявл. 06.09.1999 : опубл. 10.10.2004 / Л. Стринга ; заявитель и патентообладатель Де Ла Рю Жиори С.А.

46. Патент № 2604019 Российская Федерация, МПК B41F 33/00. Устройство автономного контроля и измерения цвета печатных листов для производства банкнот и аналогичных печатных ценных бумаг: № 2013145289/12 : заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.12.2016 / Т. Тюрке, Г.Г. Виллеке, Ж.-Б. Лантернье ; заявитель и патентообладатель КБА-НОТАСИС СА.

47. Yoshinari, K. Color image enhancement in HSI color space without gamut problem / K. Yoshinari // IEEE Conference Publications. – 2014. – P. 578–581.

48. Jiang, M. A hue linear color space based on multi-grid optimization and standard color-difference formulas / M. Jiang // IEEE Conference Publications. – 2015. – P. 5150–5154.

49. Liu, F. An efficient detection method for rare colored capsule based on RGB and HSV color space / F. Liu // IEEE Conference Publications. – 2014. – P. 175–178.

50. Erich, F. Damit aus "Himbeerrot" nicht plotzlich "Erdbeerrot" wird [Farben] / F. Erich // Dtsch. Drucker. – 2009. – Vol. 45 (19). – P. 18–20.

51. IEC 61966-2-1 Ed. 1.0 b:1999, Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - sRGB.

52. ISO 15076-1:2005, Image technology colour management - Architecture, profile format and data structure - Part 1: Based on ICC.1:2004-10.

53. Haoxue, L. Ink feeding control based on measured ink density / L. Haoxue // IEEE Conference Publications. – 2012. – P. 1376– 1380.
54. ГОСТ 19088-89 Бумага и картон. Термины и определения дефектов : межгос. стандарт = Paper and paperboard. Terms and definitions of defects : изд. офиц. : утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 22.09.89 № 2850 взамен ГОСТ 19088-79 : дата введ. 1990-07-01 / разработ. и внесен Министерством лесной промышленности СССР. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1989. – 10 с.
55. Косина листа бумаги. – URL: <http://reklama-i-poligrafiya.slovaronline.com/>.
56. ГОСТ 21102-97 Бумага и картон. Методы определения размеров и косины листа : межгос. стандарт : изд. офиц. : утв. и введен в действие Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 21.11.97 № 12 взамен ГОСТ 21102-80 : дата введ. 2001-07-01 / разработ. и внесен Государственным комитетом Украины по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
57. Хорова, А.А. Влияние технологических параметров на качество операции резки бумаги. – URL: <https://elib.belstu.by>.
58. Цвет и геометрические допуски. – URL: <https://cifteh.ru/printreq/c-olor-conformity-geometrical-admissions>.
59. Коденцев, Д.А. Методы и средства метрологического обеспечения при статистическом управлении качеством процессов в полиграфии : дис. ... канд. техн. наук ; Москва 2010. – 178 с.
60. Yin, P.Y. Skew detection and block classification for printed documents // Image Vis. Comput. – 2001. – Vol. 19. – P. 567-579.
61. Papandreou, A. Efficient skew detection of printed document images based on novel combination of enhanced profiles /A. Papandreou, B. Gatos, S.J. Perantonis, I. Gerardis // IJDAR. – 2014. – Vol. 17. – P. 433-454.
62. Shafii, M. Skew detection and correction based on an axesparallel bounding box / M. Shafii, M. Sid-Ahmed // IJDAR. – 2015. – Vol. 18. – P. 59-71.

63. Rehman, A. Document skew estimation and correction: analysis of techniques, common problems and possible solutions / A. Rehman, T. Saba // *Appl. Artif. Intell.* – 2011. – Vol. 25. – P. 769-787.
64. Saba, T. Document image analysis: issues, comparison of methods and remaining problems / T. Saba, G. Sulong, A. Rehman // *Artif. Intell. Rev.* – 2011. – Vol. 35(2). – P. 101-118.
65. Al-Rashaideh, H. Preprocessing phase for Arabic word handwritten recognition / H. Al-Rashaideh // *Russ. Acad. Sci.* – 2006. – Vol. 6(1). – P. 11-19.
66. Akhter, S. Improving Skew Detection and Correction in Different Document Images Using a Deep Learning Approach / S. Akhter, P. Rege // *Conference: 2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. – 2020.
67. Huang, K. An Efficient Document Skew Detection Method Using Probability Model and Q Test / K. Huang, Z. Chen, M. Yu, X. Yan // *Electronics*. – 2019. – Vol. 9(1):55. – P. 1-17.
68. Патент № 783559 Российская Федерация, МПК G01B 5/00. Способ определения косины листов бумаги и картона : № 2723254 : заявл. 06.02.1979 : опубл. 30.11.1980 / Г.Э. Финкельштейн.
69. ГОСТ 21102-80 Бумага и картон. Методы определения размеров и косины листа : межгос. стандарт : изд. офиц. : утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21.07.80 № 3734 взамен ГОСТ 21102-75 : дата введ. 1981-07-01 / разработ. и внесен Министерством лесной промышленности СССР. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 8 с.
70. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия : межгос. стандарт = Measuring metal rules. Basic parameters and dimensions. Specifications: изд. офиц. : утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24.10.75 № 2690 взамен ГОСТ 427-56 : дата введ. 1977-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 7 с.

71. Lipponen, P. Elasto-plastic approach for paper cockling phenomenon: On the importance of moisture gradient / P. Lipponen, T. Leppänen, J. Kouko, J. Hämäläinen // *International Journal of Solids and Structures*. – 2008. – Vol. 45. – P. 3596–3609.
72. Иванова, В.Б. Оформление изданий: Нормативный справочник / В.Б. Иванова. – Москва: Книга, 1984. – С. 20-42.
73. ГОСТ 24356-80. Бумага. Метод определения печатных свойств : гос. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : принят и введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 07.08.80 г. № 4129 взамен ГОСТ 20807-75, ГОСТ 17396-72 : дата введ. 1982-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1980. – 11 с.
74. Варепо, Л.Г. Моделирование оценки красковосприятости на основе аналитического представления профиля поверхности / Л.Г. Варепо, А.С. Борисова, О.А. Колозова // *Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии*. – 2011. – № 3(103). – С. 323-325.
75. 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 : ОФЭРНиО, 2017.
76. 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.
77. Mackay, A. Correlation between laboratory printability testing and commercial printing / A. Mackay, A. Wright // *50th Appita Annual General Conference. APPITA. Rotura*, 1996. – P. 405–414.
78. Дунаев, Д. В. Метод оценки влияния неоднородности бумаги на колебания оптической плотности оттиска / Д. В. Дунаев, В. Н. Леонтьев, П. В. Луканин // *Целлюлоза, бумага, картон*. – 2007. – № 1. – С. 50–51.

79. Леонтьев, В. Н. Системный подход к задаче совершенствования печатных свойств бумаги / В. Н. Леонтьев // Лесной журнал. – 2009. – № 3. – С. 125–128.
80. MacPhee, J. *Fundamentals of Lithographic Printing* / J. MacPhee. – GATFPress, 1998. – 365 p.
81. Хмельницкий, А. К. Модели и оценки влияния свойств бумаги на качество полиграфической продукции : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» : дис. ... канд. техн. наук / А. К. Хмельницкий ; Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров. – Санкт-Петербург, 2004. – 137 с.
82. 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.
83. Novoselskaya, O. Modelling the printing properties of the offset paper / O. Novoselskaya, M. Kulak // *Proceedings of Chemnitz University of Technology*. – Berlin, 2009. – P. 171–176.
84. Шкальный контроль и управление показателями качества печатного изображения / О. А. Новосельская, В. Л. Колесников, Т. В. Соловьева, И. В. Нагорнова [и др.] // *Динамика систем, механизмов и машин*. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 351–358.
85. Novoselskaya, O. A. Scale control and quality management of printed image parameters / O. A. Novoselskaya, V. L. Kolesnikov, T. V. Solov'eva, I. V. Nagornova [et al.] // *Journal of Physics Conference Series*. – 2017. – Vol. 858. – P. 1–8.
86. Применение корреляционного анализа для оценки печатных свойств бумаги / О. А. Новосельская, А. А. Пенкин, Т. В. Соловьева, Л. Г. Варепо [и др.] // *Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. Междунар. науч. конф.* / под общ. ред. А. А. Большакова. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн, ун-та, 2017. – Т. 12, ч. 2. – С.170–174.
87. Ozaki, Y. Visualisation of printing of ink vehicle on paper surfaces by a SEM technique / Y. Ozaki, M. Kimura // *Appita J.* – 2000. – № 3. – P. 216–219.

88. Visualisation of the distribution of offset ink components printed onto coated paper / H. Koivula, J. S. Preston, P. J. Heard, M. Toivakka // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2008. – Vol. 317, Issues 1-3. – P. 557–567.

89. Варепо, Л. Г. Применение методов электронной микроскопии для контроля качества поверхностей лакокрасочных покрытий / Л. Г. Варепо, И. В. Нагорнова, О. В. Трапезникова // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства «Oil and gas engineering 2015»* : материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф. – Омск : ИНТЕХ, 2015. – С. 84–85.

90. 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.

91. Варепо, Л. Г. Численное моделирование течения печатной краски между вращающимися цилиндрами в процессе офсетной печати / Л. Г. Варепо, А. В. Паничкин // *Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии*. – 2012. – № 2 (110). – С. 332–336.

92. Варепо, Л. Г. Конечно-разностная аппроксимация системы уравнений переноса печатной краски в процессе листовой офсетной печати / Л. Г. Варепо, А. В. Паничкин, В. И. Бобров // *Известия вузов Северо-кавказский регион. Технические науки*. – 2013. – № 2. – С. 13–17.

93. Panichkin, A. V. The Numerical Calculation of a viscous Incompressible Fluid transfer onto Poros Surface between Rotating Cylinders / A. V. Panichkin, L. G. Varepo // *Springer Proceedings in Physics*. – 2014. – Vol. 154. – P. 79–83.

94. Varepo, L. G. Numerical Calculation of Total Radial Forces and Rotary Moments From the Cylinders Surface / L. G. Varepo, A. V. Panichkin. – DOI:10.1088/1742-6596/858/1/012039 // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. – 2017. – № 858. – P. 1–6.

95. Патент № 2468922 Российская Федерация, МПК В 41 М 1/14. Способ подбора компонентов печатной системы для оптимальной цветопередачи при

многокрасочной печати : № 2011106636/12 : заявл. 22.02.2011 : опубл. 27.08.2012 / А. В. Голунов, Л. Г. Варепо ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ОмГТУ.

96. Голунов, А. В. Расширение цветового охвата в процессе листовой офсетной печати путем подбора компонентов печатной системы : специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (печатные средства информации)» : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Голунов ; Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова. – Москва : МГУП, 2012. – 139 с.

97. An algorithm for CAD tolerancing integration: Generation of assembly configurations according to dimensional and geometrical tolerances/ B. Louhichi, M. Tlija, A. Benamara, A. Tahan // Computer-Aided Design. – 2015. – Vol. 62. – P. 259-274.

98. Evaluation of composite positional error based on superposition and containment model and geometrical approximation algorithm / G. He, L. Guo, M. Zhang, P. Liu // Measurement. – 2016. – Vol. 94. – P. 441-450.

99. Nielsen, H. S. The ISO Geometrical Product Specifications Handbook. Find your way in GPS / H.S. Nielsen. – Denmark: ISO/ Danish Standards, 2012. – 378 p.

100. Glukhov, V. I. Geometrical Product Specifications: Alternative standardization principles, coordinate systems, models, classification and verification / V. I. Glukhov. – DOI: 10.1109 / Dynamics.2014.7006855 // Dynamics of systems, mechanisms and machines, Dynamics. 2014. – 9 p.

101. Glukhov, V. I. Geometrical product specifications: A structure of linear dimensions tolerances / V. I. Glukhov, O. Y. Zlatkina, I. A. Ivleva // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 124. – 8 p

102. Глухов, В. И. Геометрические характеристики изделий. Комплексные нормы взаимозаменяемости : монография / В. И. Глухов ; Минобрнауки России, ОмГТУ. Омск : Изд-во ОмГТУ. – 2015. – 160 с.

103. ISO 17450-1:2011. Geometrical product specifications (GPS) – General concepts – Part 1: Model for geometrical specification and verification.

104. Суслов, М. В. Оценка влияния элементов конструкции на деформации цилиндров печатной пары : специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (печатные средства информации)» : дис. ... канд. техн. наук / М. В.

Суслов ; Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова. – Санкт-Петербург, 2010. – 98 с.

105. Алгоритм построения и визуализации геометрической модели реальной детали / Л. Г. Варепо, О. В. Трапезникова, В. И. Глухов [и др.]. – DOI: 10.7256/2454-0714.2017.3.24159 // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 3. – С. 86–96.

106. Алгоритм построения геометрической модели детали для повышения контроля точности / О.В. Трапезникова, Л. Г. Варепо, Е. В. Трапезников, А. В. Паничкин [и др.] // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 71–76.

107. The algorithm for designing a part geometrical model aimed at increasing the precision control / O. V. Trapeznikova, L. G. Varepo, A. V. Panichkin, I. V. Nagornova [et al.]. – DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012144 // Journal of Physics : Conference Series. – 2019. – Vol. 1210. – P. 012144.

108. Варепо, Л.Г. Методология прогнозирования качества офсетной печати с учетом микрогеометрии поверхности запечатываемых материалов : специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (печатные средства информации)» : дис. ... док. техн. наук / Л.Г. Варепо ; Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова. – Москва, 2014. – 300 с.

109. Технология печатных процессов / А.Н. Раскин [и др.]; под общ. ред. А.Н. Раскина. – Москва: Книга, 1989. – 432 с.

110. Киппхан, Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / Г. Киппхан; пер. с нем. – Москва : МГУП, 2003. – 1280 с.

111. Гобыш, А.В. Анализ вычислительных схем методов конечных элементов и конечных разностей для моделирования течения несжимаемой жидкости / А.В. Гобыш, Н.Ю. Шокина // Вычислительные технологии. – 2006. – Т.11. – № 6. – С. 22-31.

112. Варепо, Л.Г. Моделирование переноса краски в зоне печатного контакта / Л.Г. Варепо, А.В. Паничкин, В.И. Бобров // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2012. – № 3. – С. 9-19.

113. Варепо, Л.Г. Конечно-разностная аппроксимация системы уравнений переноса печатной краски в процессе листовой офсетной печати / Л.Г. Варепо, А.В. Паничкин, В.И. Бобров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2. – С. 8-13.

114. Варепо, Л.Г. Численный расчет свободного движения малого объема вязкой несжимаемой жидкости между вращающимися цилиндрами / Л.Г. Варепо, А.В. Паничкин // Вычислительные технологии. – 2013. – Т.18. – № 2. – С. 62-71.

115. Паничкин, А.В. Моделирование переноса вязкой несжимаемой жидкости на подложку / А.В. Паничкин, Л.Г. Варепо ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Ростов н/Д : НОК, 2016. – 152 с.

116. Варепо, Л.Г. Алгоритм построения и оценки отклонений формы цилиндров печатного аппарата / Л. Г. Варепо, О. В. Трапезникова // Информационные технологии : тез. 82-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-14 февраля 2018г. / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2018. – С. 63–64.

117. Varepo, L. G. The numerical calculation of the viscous incompressible fluid transfer between contacting surfaces / L. G. Varepo, A. V. Panichkin, O. V. Trapeznikova. – DOI:10.1088/1757-899X/124/1/012106 // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – P. 1 – 6

118. Моделирование процесса переноса краски на бумагу с учетом ее печатно-технических свойств в офсетной печати / Л. Г. Варепо, О. В. Трапезникова, А. В. Паничкин [и др.] // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. Междунар. науч. конф. / под общ. ред. А. А. Большакова. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – Т. 12, ч. 1. – С.120–124.

119. Варепо, Л. Г. Компьютерная визуализация автоматизированного расчета показателей переноса вязкой несжимаемой жидкости при варьировании

ширины контакта / Л. Г. Варепо, А. В. Паничкин, О. В. Трапезникова, И. В. Нагорнова // Проблемы машиноведения : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 27–28 февр. 2018 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ [и др.] ; [науч. ред. П. Д. Балакин]. – Омск : ОмГТУ, 2018. – С. 178–183.

120. Varepo, L. G. Computer visualization of automatized calculation the factors of mass transfer the viscous incompressible liquid with contact width variation / L. G. Varepo, A. V. Panichkin, O. V. Trapeznikova, I. V. Nagornova. – DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012093 // Journal of Physics Conference Series. – 2018. – Vol. 1050. – P. 1–6.

121. 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.

122. Varepo, L. G. Software for Quantitative Estimation of Coefficients of Ink Transfer on the Printed Substrate in Offset Printing / L.G. Varepo, O.V. Trapeznikova, A.V. Panichkin, B.A. Roev, G.B. Kulikov // Journal of Physics : Conference Series. – 2018. – Vol. 998 (1) : Metrology, standardization, quality: theory and practice (MSQ-2017). – P. 012041.

123. Panichkin, A.V. The simulation of the viscous fluid splitting at the outlet of the engagement zone between cylinder surfaces and substrate / A.V. Panichkin, L.G. Varepo // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2014. – P. 1–4.

124. Патент № 2604019 Российская Федерация, МПК В41F 33/00. Устройство автономного контроля и измерения цвета печатных листов для производства банкнот и аналогичных печатных ценных бумаг: № 2013145289/12 : заявл. 27.03.2012 : опубл. 10.12.2016 / Т. Тюрке, Г.Г. Виллеке, Ж.-Б. Лантернье ; заявитель и патентообладатель КБА-НОТАСИС СА.

125. Лукьянов, В.С. Параметры шероховатости поверхности / В.С. Лукьянов, Я.А. Рудзит. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 162 с.

126. Кулак, М. И. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы / М. И. Кулак, Н. А. Нечипорович, Д. М. Медяк. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 419 с.

127. Терещенко, А.В. Непараметрический подход к оценке микрогеометрии поверхностей и его воплощение при помощи современной компьютерной математики // Научно-технический вестник. Современные технологические решения. – 2005. – № 20. – С. 279–284.

128. Патент № 2776593 Российская Федерация, МПК G01J 3/50. Метод определения косины листа : № 2021121138 : заявл. 16.07.2021 : опубл. 22.07.2022 / Л.Б. Серкова, Л.Г. Варепо, О.В. Трапезникова ; заявитель и патентообладатель ОмГТУ.

129. 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.

130. ГОСТ Р 57641-2017. Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия: нац. стандарт : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.09.17 № 1022-ст : введ. впервые : дата введ. 2018-03-01 / разработ. и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 177 «Целлюлоза, бумага, картон и материалы промышленно-технического назначения». – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2017. – 14 с.

131. Измерительный микроскоп VMM 150 (Walter Uhl). – URL: <https://synercon.ru/catalog/seriya-vmm/izmeritelnyy-mikroskop-vmm-150/>.

132. Трапезникова, О.В. К вопросу повышения точности контроля показателей качества многокрасочных печатных изделий / О.В. Трапезникова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 2. – С. 158–162.

133. Трапезникова, О.В. К вопросу повышения точности контроля показателей качества многокрасочных печатных изделий / О.В. Трапезникова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 3 (37). – С. 103-108.

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

135. Голунов, А.В. Автоматизированный контроль и интерпретация цветопроизведения / А.В. Голунов, О.В. Трапезникова, М.А. Федорова, В.Ю. Кирнос // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 290–296.

136. Golunov, A.V. Automated control and interpretation of colour reproduction / A.V. Golunov, V.Yu. Kirnosov, A.S. Golunova, O.V. Trapeznikova, M.A. Fedorova // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – Omsk, 2017. – P. 1–5.

137. Method of Measuring and Specifying Color Rendering Properties of Light Source. CIE // Commission Internationale de l'Eclairage. 1995. – No.133.

138. Zheng Cui, Chunshan Zhou, Song Qiu, Zheng Chen, Jian Lin, Jianwen Zhao, Changqi Ma and Wenming Su. Printed Electronics: Materials, Technologies and Applications, First Edition. 2016

139. Virkki, J. Reliability of washable wearable screen printed UHF RFID tags / J. Virkki, T. Björninen, T. Kellomäki, S. Merilampi, I. Shafiq, L. Ukkonen, L. Sydänheimo Y.C. Chan // Microelectronics Reliability. – 2014. – Vol. 54. – P. 840–846.

140. Anderson, N. Highly sensitive screen printed strain sensors on flexible substrates via ink composition optimization / N. Anderson, N. Szorc, V. Gunasekaran, S. Joshi, G. Jursich // Sensors and Actuators A: Physical. – 2019. – Vol. 290. – P. 1–7.

141. Eshkalak, S.K. A review on inkjet printing of CNT composites for smart applications / S.K. Eshkalak, A. Chinnappan, W.A.D.M. Jayathilaka, M. Khatibzadeh, E. Kowsari, S. Ramakrishna // Applied Materials Today. – 2019. – Vol. 9. – P. 372–386.

142. Kapnopoulos, C. Fully gravure printed organic photovoltaic modules: A straightforward process with a high potential for large scale production / C. Kapnopoulos, E.D. Mekeridis, L. Tzounis, C. Polyzoidis, A. Zachariadis, S. Tsimikli, S. Logothetidis // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2016. – Vol. 144. – P. 724–731.

143. Krebs, F.C. Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques / F.C. Krebs // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2009. – Vol. 93(4). – P. 394–412.
144. Cho, D.-H. Flexible integrated OLED substrates prepared by printing and plating process / D.-H. Cho, O. E. Kwon, Y.-S. Park, B. G. Yu, J. Lee, J. Moon, H. Cho, H. Lee, N.-S. Cho // *Organic Electronics*. – 2017. – Vol. 50. – P. 170–176.
145. Zhang, R. Preparation and luminescent performances of transparent screen-printed Ce<sup>3+</sup>: Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> phosphors-in-glass thick films for remote white LEDs / R. Zhang, B. Wang, W. Zhu, C. Li, H. Wang // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2017. – Vol. 720. – P. 340–344.
146. Grubb, P. M. Inkjet Printing of High Performance Transistors with Micron Order Chemically Set Gaps / P.M. Grubb, H. Subbaraman, S. Park, D. Akinwande, R.T. Chen // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 01391.
147. Mattana, G. Recent advances in printed sensors on foil / G. Mattana, D. Briand // *Materials Today*. – 2016. – Vol. 19(2). – P. 88–99.
148. Lamas-Ardisana, P.J. Glucose biosensor based on disposable electrochemical paper-based transducers fully fabricated by screen-printing / P.J. Lamas-Ardisana, G. Martínez-Paredes, L. Añorga, H.J. Grande // *Biosensors and bioelectronics*. – 2018. – Vol. 109. – P. 8–12.
149. Nagornova, I.V. Algorithmic presentation of printed electronics verification in-process / I.V. Nagornova, E.B. Bablyuk, O.V. Lazareva, O.V. Trapeznikova, E.B. Charushina // *Journal of Physics: Conference series*. – 2019. – Vol. 1260 : Mechanical Science and Technology Update. – P. 032028.
150. ГОСТ Р 56251–2014. Платы печатные. Классификация дефектов: нац. стандарт : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.11.14 № 1788-ст : введ. впервые : дата введ. 2015-06-01 / разработ. Открытым акционерным обществом «Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш»» и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 420

«Базовые несущие конструкции, сборка и монтаж электронных модулей». – Москва : Стандартинформ, 2014. – 107 с.

151. Cruz, S. M. F. Printing Technologies on Flexible Substrates for Printed Electronics / S.M.F. Cruz, L.A. Rocha, J.C. Viana // Flexible Electronics. – 2018. – P. 47–70.

152. Izdebska, J. Printing on Polymers. Printing on Polymers: Fundamentals and Applications. – William Andrew, 2015. – 444 p.

153. Khan, S. Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review / S. Khan, L. Lorenzelli, R.S. Dahiya // IEEE Sensor journal. – 2015. – Vol. 15(6). – P. 3164–3185.

154. Полянский, Н.Н., Технология формных процессов: учебник / Н.Н. Полянский, О.А. Карташева, Е.Б. Надирова. – М.: МГУП, 2007. – 364 с.

155. ГОСТ 53429–2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции : нац. стандарт : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.11.09 № 519-ст : введ. впервые : дата введ. 2010-07-01 / разработ. ОАО «ЦНИТИ "Техномаш» и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 420 «Базовые несущие конструкции, сборка и монтаж электронных модулей». – Москва : Стандартинформ, 2012. – 11 с.

156. Лазарева, О.В. К вопросу управления геометрической точностью элементов изделий печатной электроники в процессе производства / О.В. Лазарева, И.В. Нагорнова, О.В. Трапезникова // Метрология, стандартизация и управление качеством : материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. (Омск, 20–22 мая 2019 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ ; [редкол.: В. В. Шалай (гл. ред.) и др.]. – Омск : Издво ОмГТУ, 2019. – С. 34–37.

157. ГОСТ Р 54766-2011 Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, пробных и тиражных оттисков. Часть 2. Процессы офсетной печати : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 956-ст : дата введ. 2013-01-01 / разработ. и внесен Техническим

комитетом по стандартизации ТК 350 «Технология полиграфии». – Москва : Стандартинформ, 2012. – 24 с.

158. Kuznetsov, Y.V. Tone reproduction curve: rendering intents and their realization in halftone printing / Y.V. Kuznetsov, A.A. Schadenko, V.V. Vaganov // Journal of graphic engineering and design. – 2021. – Vo11, no 2. – P. 47– 59.

159. Kuznetsov, Y.V. Principles of image printing technology / Y.V. Kuznetsov. – Cham, Switzerland : Springer-Verlag GmbH, 2021. – 367 p. – ISBN: 978-3-030-60954-2.

160. Патент № 207191 Российская Федерация, МПК G01J 3/50. Цветоизмерительное устройство : № 2021122745 : заявл. 30.07.2021 : опубл. 15.10.2021 / Л.Г. Варепо, О.В. Трапезникова, А.В. Голунов, А.С. Голунова ; заявитель и патентообладатель ОмГТУ.

161. ГОСТ Р ИСО 12647-3-2014. Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, пробных и тиражных оттисков. Ч. 3. Газетная офсетная печать без сушильных устройств : нац. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 8 сент. 2014 г. № 1007-ст : введ. впервые : дата введ. 2016-01-01 / разработ. и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 350 «Технология полиграфии». – Москва : Стандартинформ, 2015. – 31 с.

162. ГОСТ Р ИСО 105-J01-99. Материалы текстильные. Определение устойчивости окраски. Ч. J01. Общие требования к инструментальному методу измерения цвета поверхности : гос. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : принят и введ. в действие Постановлением Госстандарта России от 29 дек. 1999 г. № 842-ст : введ. впервые : дата введ. 2001-01-01 / разработ. Центром стандартизации, метрологии экспертизы и сертификации в легкой, текстильной и смежных отраслях промышленности «Легпромстандарт» (Центр «Легпромстандарт») Госстандарта России и Открытым акционерным обществом Научно-производственным комплексом «ЦНИИШерсть» (ОАО НПК «ЦНИИШерсть») и внесен Госстандартом России, Техническим комитетом по стандартизации ТК 412 «Текстиль». – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 10 с.

163. ISO 13655:2017 Graphic technology — Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images Утв. и введ. в действие Техническим комитетом ISO /TC 130, Графические технологии, совместно с Technical Committee ISO/TC 42, Photog. Введен в действие в 2017 году. – 15 с.

164. Ataefard, M. Investigating the effect of paper properties on color reproduction of digital printing // Progress in organic coatings. – V. 77 (9). – P. 1376-1381.

165. Медяк, Д.М. Исследование износа флексографских печатных форм в лабораторных и производственных условиях / Д.М. Медяк, Е.В. Барковский, М.И. Кулак // Труды БГТУ, 2015. – № 9 (182). – С. 41-44.

166. Шашлов, Б.А. Цвет и цветовоспроизведение: Учеб. для вузов по спец. «Технология полигр. пр-ва» / Б.А. Шашлов. – Москва : Книга, 1986. – 280 с.

167. ГОСТ Р ИСО 8.829–2013. Методика измерений оптической плотности (коэффициента пропускания) и мутности пластин и пленок из полимерных материалов: нац. стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06.09.13 г. № 1014-ст : введ. впервые : дата введ. 2015-01-01 / разработ. Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ») и внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы», Подкомитетом ПК-10 «Оптические и оптико-физические измерения». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.

168. ISO (ИСО) 12647-2: 1996. Технология цветной печати. Часть 2. Офсетные литографические процессы. международный. стандарт: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Техническим комитетом ISO/TC 130 по технологиям цветной печати. Введен в действие в 1996 году. – 16 с.

169. CIE Central Bureau, Vienna 2012. Colourimetry – Part6: CIEDE2000 colour-difference formula, CIE DS 014-6/E:2012.

170. Трапезникова, О.В. Влияние неоднородности структуры изображения на регистрируемые значения координат цвета / О.В. Трапезникова, А.В. Голунов, А.С. Голунова, С.А. Щеглов, Л.Г. Варепо // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 426–431.

## Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020661257

«Определение красковосприятия»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (RU)*

Автор: *Трапезникова Ольга Валерьевна (RU)*



Заявка № 2020660627

Дата поступления 21 сентября 2020 г.

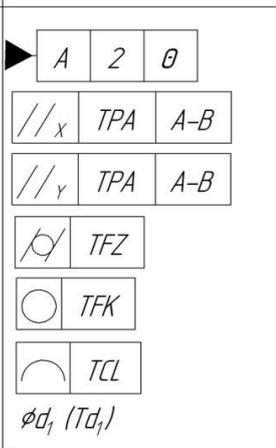
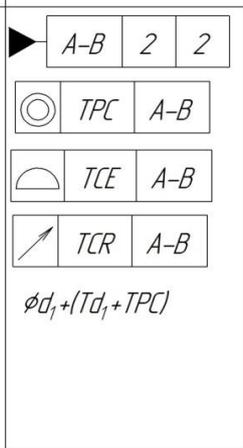
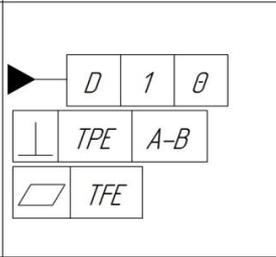
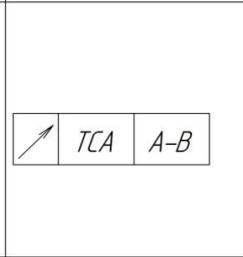
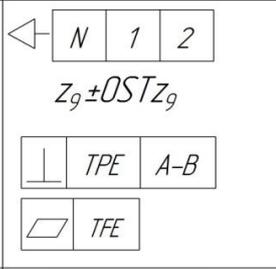
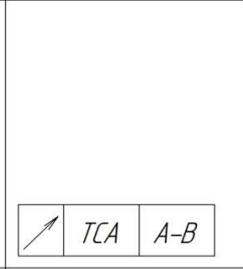
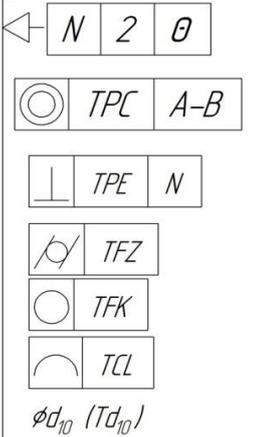
Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 сентября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Матрица геометрических характеристик печатного вала

Номер элемента. Центр элемента. Обозначение элемента. Система координат. Комплект баз системы.	Тип элемента. Функциональное назначение. Фактическая информативность. Максимальная информативность	Число линейных и угловых координат. Координируемые размеры и отклонения расположения. Отклонения формы. Элементные размеры.	Нормируемые геометрические характеристики. Базы. Координирующие размеры и допуски расположения. Допуски формы. Элементные размеры.	Примечания. Предложения. Варианты.
1 $C_1$ $A2$ $OX2Y\theta Z4$ $A2B2D1E1$	Цилиндр в комплекте $OB \rightarrow C_1 \rightarrow Z4$ $N_{inf} = 2t + \theta r$ $N_{max} = 2t + 2r$	$N_{срд} = N_{max} - N_{inf} = \theta t + 2r$ $\theta \circ \pm AEX_1$ $\theta \circ \pm AEY_1$ $d_1 - Ed_1$ $EF_1$		
3 $C_3$ $D1$ $OX2Y\theta Z4$	Плоскость в комплекте $OB \rightarrow C_3 \rightarrow O_{CS}$ $N_{inf} = 1t + \theta r$ $N_{max} = 1t + 2r$	$N_{срд} = N_{max} - N_{inf} = \theta t + 2r$ $90 \circ \pm AEX_3$ $90 \circ \pm AEY_3$ $EF_3$		
9 $C_9$ $N3$ $OX2Y\theta Z4$ $A2-B2D1E1$ $O''X''4Y''ZZ''\theta$ $N3P2E1$	Плоскость в комплекте $BB \rightarrow C_9 \rightarrow X''4Y''2$ $N_{inf} = 1t + 2r$ $N_{max} = 1t + 2r$	$N_{срд} = N_{inf} = 1t + 2r$ $Z_9 \pm Ez_9$ $90 \circ \pm AEX_9$ $90 \circ \pm AEY_9$ $N'_{срд} = N_{max} - N_{inf} = \theta t + \theta r$ $EF_9$ $AE_9 + EF_9$		
10 $C_{10}$ $P2$ $OX2Y\theta Z4$ $A2-B2D1E1$ $O''X''4Y''ZZ''\theta$ $N3P2E1$	Цилиндр в комплекте $BB \rightarrow C_{10} \rightarrow O''CZ$ $N_{inf} = 2t + \theta r$ $N_{max} = 2t + 2r$	$N_{срд} = N_{inf} = 2t + \theta r$ $\theta \circ \pm EX_{10}$ $\theta \circ \pm EY_{10}$ $N'_{срд} = N_{max} - N_{inf} = \theta t + 2r$ $90 \circ \pm AEX_{10}$ $90 \circ \pm AEY_{10}$ $EF_{10}$ $d_{10} - Ed_{10}$		$\theta \pm 0.5TEE$ $90 \circ + AT_{10}$ $\phi d_{10} (Td_{10})$

## Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020610018

Определение и контроль показателей краскопереноса с  
учетом влияния осевой вибрации и геометрических  
характеристик цилиндров печатного аппарата

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Омский  
государственный технический университет» (RU)*

Авторы: *Варепо Лариса Григорьевна (RU), Паничкин Алексей  
Васильевич (RU), Трапезникова Ольга Валерьевна (RU)*

Заявка № 2019666629

Дата поступления 18 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 09 января 2020 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



```

parameter(n1=321,n2=321,n3=3,n4=4)
IMPLICIT real*8 (a-f,o-z)
REAL*8 Ft1(N1,N2),Ft2(N1,N2),Ft3(N1),Ft4(N2)
*,Ftp(N1,N2),Ftp1(N1,N2),Ftp2(N1,N2)
.....
REAL*8 ekgr1(4,n1,n2)

REAL*8 rdisk2(n1),frdisk2(n1),rdisk1(n1),frdisk1(n1)
.....
REAL*8 ri00(n1),r2i00(n1),dt_v1(n1),dt_v2(n1)
REAL*8 div_mn,div_sl,ekgr
REAL*8 skr0,skr_rasch0,spin0,coef1,coef2,coef3,skr_rasch00
REAL*8 div_sl1,div_sl2,div_sl3
REAL*8 Fi11,Fi12,Fi21,Fi22,a11,b11,c11,a21,b21,c21
REAL*8 coefx,coefy,coefs1,coefs2,coefs3,coefs4
integer kgr1(4,n1,n2),kdisk1(n1,n2),krasch1(n1,n2)
integer kgr0(4,n1,n2),kgr2(4,n1,n2),jgr2(n1)
integer kdisk0(n1,n2)
integer krasch0(n1,n2),krasch2(n1,n2)
*,krasch10(n1,n2)

integer jdisk11(n1),jdkisk12(n1),jdkisk21(n1),jdkisk22(n1)
integer ndisk1(n1),jdkisk1(n1)

OPEN (10,FILE='sf8.dat')
OPEN (20,FILE='sf8vyv.dat')

6 FORMAT(11g18.11)
1 FORMAT(11g14.7)
.....
*,p0,crez,cbum,tlrez,tlbum,div_mn,div_sl,ekgr
*,cnatrez,cnatbum,un1rez,un2bum,coefx,coefy
*,coefs1,coefs2,coefs3,coefs4
*,cfu1,cfu11,cfv1,cfp1,RList,dtvyv,fnu,fam
*,Fi11,Fi12,Fi21,Fi22,a11,b11,c11,a21,b21,c21

```

с Определение размеров общей области

```

ax=xc-dl1 - 1.*dob2
bx=xc+dl2 + 1.*dob1
ay=yc-tl0 - 1.*dob4
by=yc + 1.*dob3

```

с Размеры начальной области определения

```

арх=xc-dl1
.....

```

с Вывод расчетных данных

```

if(tvyv.gt.dtvyyv)
*WRITE(20,*) 't=',t,' f1=',f1,' Rf1=',Rf1,' f2=',f2,' Rf2=',Rf2
if(tvyv.gt.dtvyyv) tvyv=0

```

с Выход из цикла по времени

```

if(t.lt.t1)goto 100
close(10)

```



.0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000  
 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000 .0000000

Ширина полосы d10= 4.000000000000000E-006, расчет d100=  
 4.000000000000000E-006  
 Толщина краски t10= 2.000000000000000E-006, расчет t100=  
 1.995000000000000E-006  
 skr= 7.980000000000000E-012 skrs= 1.080466295197882E-011  
 skr\_rasch= 1.147894039425092E-011 imax= 0 jmax= 0  
 skr\_1= 3.933000000000000E-012 pkr\_1= 3.640095038114715E-001 sc\_1=  
 2.904795840415542E-012  
 skr\_2= 5.215500000000000E-012 pkr\_2= 4.827082550543429E-001 sc\_2=  
 3.852011875333656E-012  
 skr\_in= 1.637162951978739E-012 pkr\_in= 1.515237411157653E-001 sc\_in=  
 1.209159454103807E-012  
 ybum\_max\_d2= 8.120843146231613E-007  
 skr\_out= 1.900000000000000E-014 pkr\_out= 1.758500018420365E-003 sc\_out=  
 1.403283014699452E-014

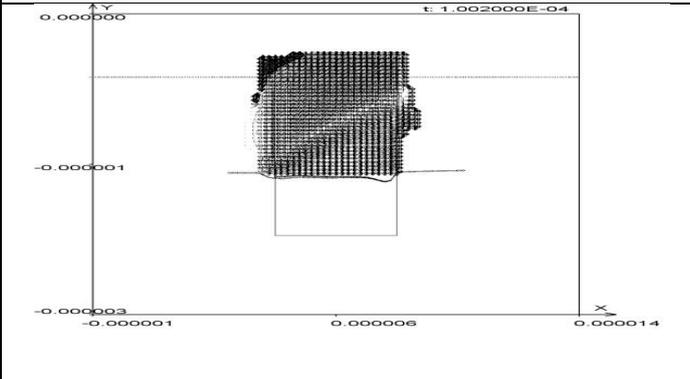
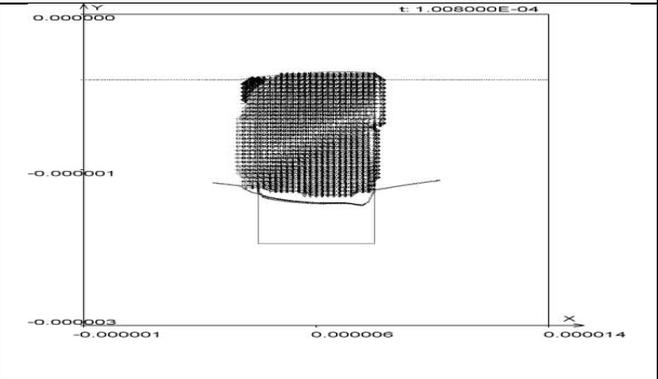
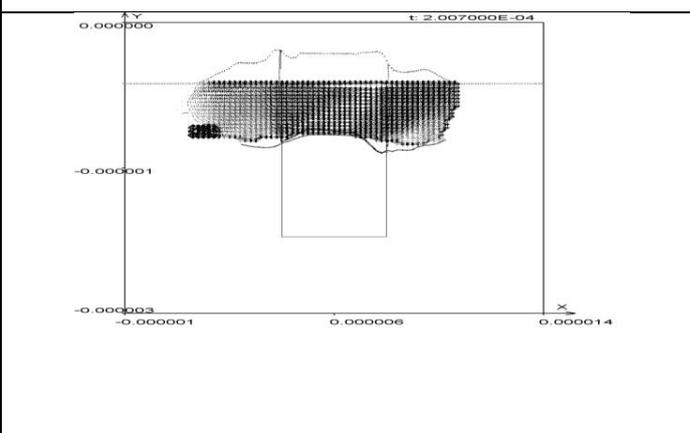
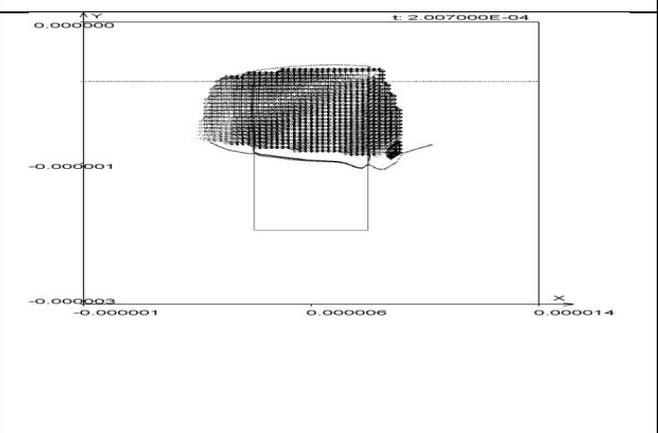
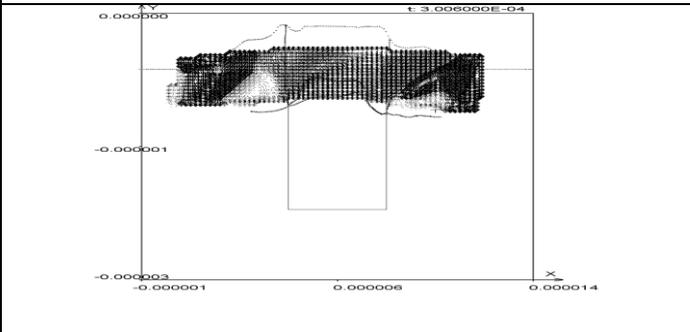
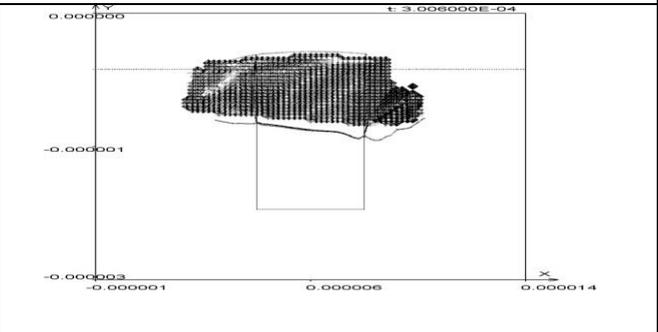
idl01,idl02,idl11,idl12,idl21,idl22,idl31,idl32= 31 32  
 32 33 50 51 51 52  
 skr01,sp101,sp201,spin01,spout01=  
 3.990000000000000E-013 1.520000000000000E-012 1.995000000000000E-012  
 4.057755044697125E-013 0.000000000000000E+000  
 skr02,sp102,sp202,spin02,spout02=  
 7.182000000000000E-012 9.879999999999999E-013 1.377500000000000E-012  
 4.982425832329344E-013 4.318257416767067E-012  
 skr03,sp103,sp203,spin03,spout03=  
 3.990000000000000E-013 5.700000000000000E-014 7.600000000000000E-014  
 3.447584299752132E-014 2.315241570024787E-013

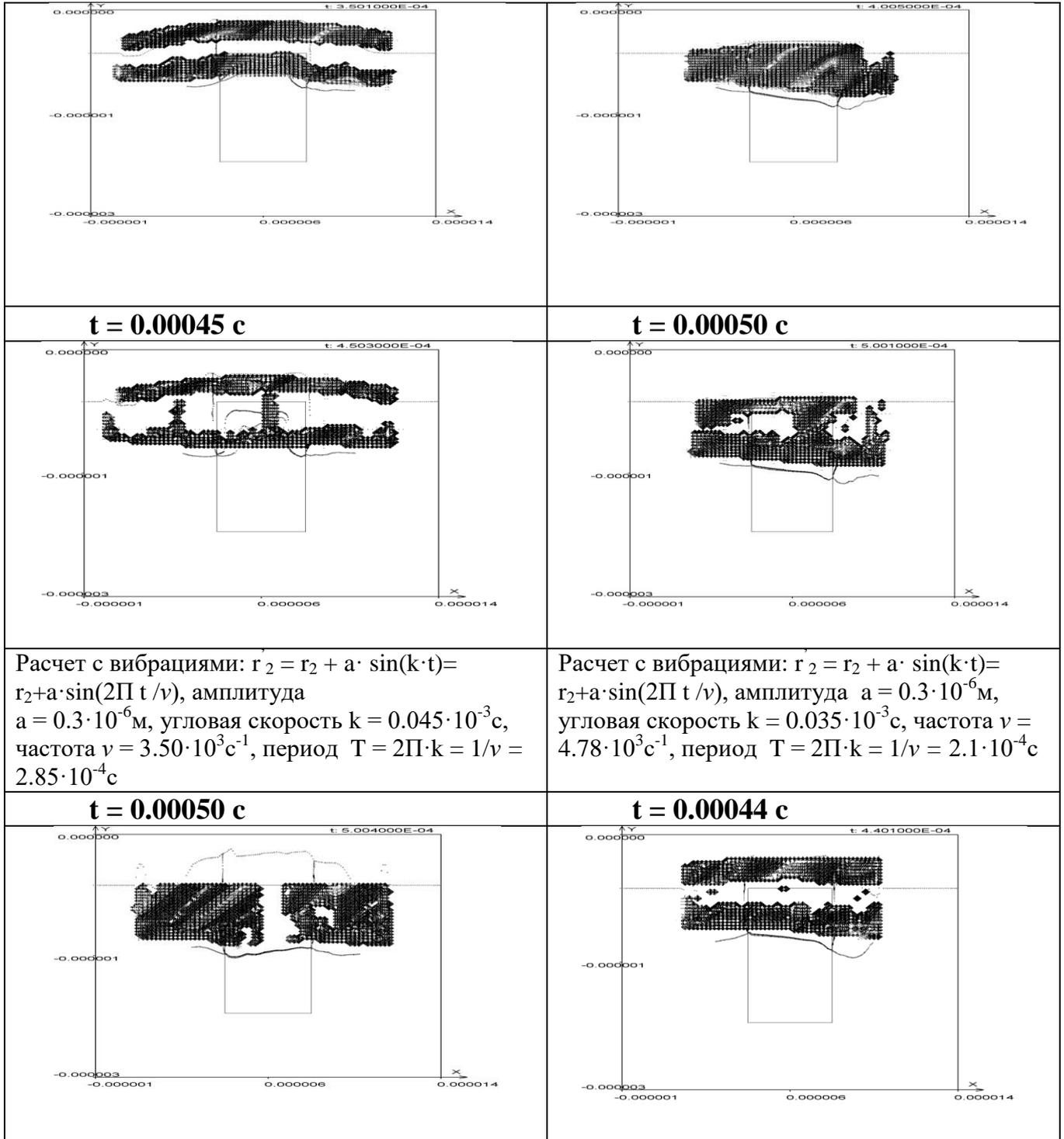
Для правой половины полосы d10= 4.000000000000000E-006, расчет d100=  
 4.000000000000000E-006  
 skr03= 3.990000000000000E-013 skrs03= 3.990000000000000E-013  
 Краска, проценте, краска на всю полосу: 1,2,in,out  
 skr\_103= 5.700000000000000E-014 pkr\_103= 1.428571428571429E-001 sc\_103=  
 1.140000000000000E-012  
 skr\_203= 7.600000000000000E-014 pkr\_203= 1.904761904761905E-001 sc\_203=  
 1.520000000000000E-012  
 skr\_in03= 3.447584299752132E-014 pkr\_in03= 8.640562154767248E-002 sc\_in03=  
 6.895168599504264E-013  
 skr\_out03= 2.315241570024787E-013 pkr\_out03= 5.802610451189941E-001 sc\_out03  
 = 4.630483140049573E-012

Первая ширина полосы d110= 2.000000000000000E-003, расчет d1100=  
 2.000000000000000E-003  
 skr1= 3.990000000000000E-009 skrs1= 3.993521775504470E-009  
 skr\_11= 5.503561111111109E-010 pkr\_11= 1.378122224065221E-001 sc\_11=  
 5.498707674020229E-010  
 skr\_21= 7.671957222222222E-010 pkr\_21= 1.921100635854949E-001 sc\_21=  
 7.665191537061245E-010  
 skr\_in1= 2.771863261898493E-010 pkr\_in1= 6.940899330762622E-002 sc\_in1=  
 2.769418832974286E-010  
 ybum\_max\_d2= 8.120843146231613E-007  
 skr\_out1= 2.398783615981288E-009 pkr\_out1= 6.006687207003568E-001 sc\_out1=  
 2.396668195594423E-009

Вторая ширина полосы d120= 4.000000000000000E-003, расчет d1200=  
 4.000000000000000E-003  
 skr2= 7.980000000000000E-009 skrs2= 7.983521775504473E-009  
 skr\_12= 1.099245000000000E-009 pkr\_12= 1.376892342641026E-001 sc\_12=  
 1.098760089427539E-009  
 skr\_22= 1.532473500000000E-009 pkr\_22= 1.919545713148837E-001 sc\_22=  
 1.531797479092772E-009  
 skr\_in2= 5.539877613192575E-010 pkr\_in2= 6.939140105047831E-002 sc\_in2=  
 5.537433803828170E-010  
 ybum\_max\_d2= 8.120843146231613E-007  
 skr\_out2= 4.797815514185215E-009 pkr\_out2= 6.009647933705353E-001 sc\_out2=  
 4.795699051096873E-009

Компьютерная интерпретация расчета влияния осевой вибрации в печатном аппарате на характеристики краскопереноса при подборе ОКПС

<p>Расчет с вибрациями: <math>r_2 = r_2 + a \cdot \sin(k \cdot t) = r_2 + a \cdot \sin(2\pi t / \nu)</math>, амплитуда <math>a = 0.3 \cdot 10^{-6}</math> м, угловая скорость <math>k = 0.05 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}</math>, частота <math>\nu = 3.18 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}</math>, период <math>T = 2\pi \cdot k = 1/\nu = 3.14 \cdot 10^{-4} \text{ с}</math></p>	<p>Расчет с вибрациями: <math>r_{II} = r_{II} + a \cdot \sin(k \cdot t) = r_{II} + a \cdot \sin(2\pi t)</math>, амплитуда <math>a = 0.0 \cdot 10^{-6}</math> м, угловая скорость <math>k = 0.0 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}</math>, частота <math>\nu = 0.0 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}</math>, период <math>T = 1/(2\pi \cdot k) = 1/\nu = \infty \cdot 10^{-4} \text{ с}</math></p>
<p><b>t = 0.00010 с</b></p> 	<p><b>t = 0.00010 с</b></p> 
<p><b>t = 0.00020 с</b></p> 	<p><b>t = 0.00020 с</b></p> 
<p><b>t = 0.00030 с</b></p> 	<p><b>t = 0.00030 с</b></p> 
<p><b>t = 0.00040 с</b></p>	<p><b>t = 0.00040 с</b></p>



## Свидетельство о регистрации электронного ресурса



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ОБРАЗОВАНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"  
(основан в 1991 году)

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ  
ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 22517

ИУО РАО  
ОФЭРНиО

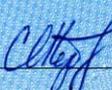
Настоящее свидетельство выдано на электронный ресурс, отвечающий  
требованиям новизны и приоритетности:

**Программа «Оценка характеристик микрогеометрии поверхности  
запечатываемых подложек»**

Дата регистрации: 17 января 2017 года

Авторы: Варепо Л.Г., Трапезникова О.В., Трапезников Е.В., Нагорнова И.В.

Организация-разработчик: **ФГБОУ ВО «Омский государственный  
технический университет»**

Директор ФГБНУ ИУО РАО,  
доктор экономических наук  С.С. Неустроев

Руководитель ОФЭРНиО, почетный  
работник науки и техники России  А.И. Галкина



Патент – Определение косины листа

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2776593

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОСИНЫ ЛИСТА**

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет" (ОмГТУ) (RU)*

Авторы: *Серкова Любовь Борисовна (RU), Варено Лариса Григорьевна (RU), Трапезникова Ольга Валерьевна (RU)*

Заявка № 2021121138

Приоритет изобретения **16 июля 2021 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **22 июля 2022 г.**  
Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **16 июля 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 68b80077e14e4f00a94edbd24145d5c7  
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 20.05.2022 по 26.05.2023

*Ю.С. Зубов*



## Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014619696

**Программный продукт для оценки цветовоспроизведения  
печатной системы**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального  
образования "Омский государственный технический  
университет" (RU)*

Авторы: *Варепо Лариса Григорьевна (RU),  
Трапезникова Ольга Валерьевна (RU)*

Заявка № 2014617401

Дата поступления 24 июля 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 19 сентября 2014 г.



*Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий

## Акты внедрения

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ОмГТУ)

АКТ

№ \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по учебной работе  
 А.В. Милецкий  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.



**О внедрении в учебный процесс университета результатов научной работы**

Мы, нижеподписавшиеся  
 начальник учебно-методического управления Н.А. Прокудина,  
 декан факультета Гуманитарного образования М.И. Машкарин,  
 заведующий кафедрой «Дизайн и технологии медиаиндустрии» (ДТМ) А.В. Голунов  
 составили настоящий акт в том, что программа «Оценка характеристик  
 микрогеометрии поверхности запечатываемых подложек» (свидетельство о  
 регистрации электронного ресурса № 22517 от 17.01.17), разработанная по теме  
 диссертации аспирантом О.В. Трапезниковой имеет теоретическое и практическое  
 значение для учебного процесса и внедрена в учебный процесс Омского  
 государственного технического университета при обучении студентов

направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника  
(направления подготовки шифры и названия)

Кафедра, внедрившая результаты «Дизайн и технологии медиаиндустрии»  
 Дата и номер протокола заседания кафедры, на котором рассмотрены результаты  
 внедрения №13 от 28.06.2018

Начало использования объекта внедрения 28.06.2018

Начальник УМУ

Н.А. Прокудина

Декан ФГО

М.И. Машкарин

Заведующий кафедрой ДТМ

А.В. Голунов

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ОмГТУ)

АКТ

№ \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по учебной работе

А.В. Мыльняев  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ г



**О внедрении в учебный процесс университета результатов научной работы**

Мы, нижеподписавшиеся

начальник учебно-методического управления Н.А. Прокудина,  
 декан факультета Гуманитарного образования М.И. Машкарин,  
 заведующий кафедрой «Дизайн и технологии медиаиндустрии» (ДТМ) А.В. Голунов

составили настоящий акт в том, что «Программный продукт для оценки цветовоспроизведения печатной системы» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014619696), разработанный по теме диссертации аспирантом О.В. Трапезниковой имеют теоретическое и практическое значение для учебного процесса и внедрен в учебный процесс Омского государственного технического университета при обучении студентов

направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника  
(направления подготовки: шифры и названия)

Кафедра, внедрившая результаты «Дизайн и технологии медиаиндустрии»

Дата и номер протокола заседания кафедры, на котором рассмотрены результаты внедрения №13 от 28.06.2018

Начало использования объекта внедрения 28.06.2018

Начальник УМУ

Н.А. Прокудина

Декан ФГО

М.И. Машкарин

Заведующий кафедрой ДТМ

А.В. Голунов



тел./факс (3812) 32-03-95, 51-00-39  
 тел. (3812) 37-16-27, 37-16-28  
 E-mail: info@polygraph-omsk.ru  
 www.polygraph-omsk.ru

644042, г. Омск, пр. К. Маркса, 41



«ПРИТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Полиграф»

А.В. Белан

«04» июня 2018 г.

### АКТ

Настоящий акт составлен представителями ООО «Полиграф» (г. Омск) директором Белан А.В., главным технологом Лабзиным С.М. с одной стороны и представителями ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), аспирантом Трапезниковой О.В. и д.т.н., проф. Варепю Л.Г. с другой в том, что проведены испытания и практическая апробация программы «Оценка характеристик микрогеометрии поверхности запечатываемых подложек» (свидетельство о регистрации электронного ресурса № 22517 от 17.01.17) с 21.05 по 29.05.2018г.

Испытания показали, что практическая реализация программного продукта в операционной системе Windows XP (или более поздней версии) позволяет определить характеристики высоты, размера выступов и впадин профиля и другие информативные характеристики профиля поверхности запечатываемой подложки..

Для автоматизации выбора компонентов конкретной печатной системы и обеспечения качества многокрасочной продукции в соответствие с нормируемыми показателями, программа «Оценка характеристик микрогеометрии поверхности запечатываемых подложек» (свидетельство о регистрации электронного ресурса № 22517 от 17.01.17, авторы О.В. Трапезникова, Е.В. Трапезников, Л.Г. Варепю, И.В. Нагорнова) внедрена на ООО «Полиграф».

Акт выдан для представления в диссертационный совет.

Главный технолог, канд.техн.наук,  
 доцент \_\_\_\_\_ С.М. Лабзин

От ОмГТУ Аспирант

\_\_\_\_\_ Трапезникова О.В.

Доктор техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ Л.Г. Варепю



## АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы  
Трапезниковой Ольги Валерьевны,  
выполненной в Федеральном государственном бюджетном образовательном  
учреждении высшего образования «Омский государственный технический  
университет» (ОмГТУ), представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Комиссия в составе: председатель комиссии: Белан А. В. – к.т.н., доцент, директор ООО «Полиграф», члены комиссии: Лабзин С. М. – к.т.н., доцент, гл. технолог, Холкин А.А., гл. инженер и представитель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ) Трапезникова О.В. составили настоящий акт о том, что с 04.10.2021 по 15.10.2021 г.г. были проведены испытания, разработанных и представленных Трапезниковой О.В. в диссертационной работе, технических решений, обоснованность которых, подтверждена следующими документами:

1. 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 : опубл. 09.01.2020 / Л. Г. Варепо, А. В. Паничкин, О. В. Трапезникова;

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661257 Российская Федерация. Определение красковосприятости: № 2020660627 : опубл. 21.09.2020 / О. В. Трапезникова;

Разработанные методы определения и контроля показателей качества печатной продукции (печатных изделий) и соответствующие программные продукты, внедрены на стадиях подготовки и изготовления печатной продукции, что позволило в ходе испытаний получить следующие результаты:

1. прогнозировать качество печатной продукции, на стадиях ее проектирования и изготовления, учесть различные риски возникновения брака при подборе компонентов печатной системы;

2. автоматизировать и осуществлять оперативный контроль отдельных показателей качества печатной продукции (краскопереноса, красковосприятости), изготовленной с применением различных печатных систем;

3. повысить объективность и точность контроля совмещения красок в процессе изготовления многокрасочной печатной продукции, исключив субъективное мнение эксперта.

Акт выдан для представления в диссертационный совет.

От ООО «Полиграф»

Председатель комиссии

Члены комиссии



А. В. Белан

С.М. Лабзин

А.А. Холкин

От ОмГТУ

О.В.Трапезникова

Патент – Цветоизмерительное устройство

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 207191**

**ЦВЕТОИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет" (ОмГТУ) (RU)*

Авторы: *Варепо Лариса Григорьевна (RU), Трапезникова Ольга Валерьевна (RU), Голунов Александр Владимирович (RU), Голунова Алина Сергеевна (RU)*

Заявка № 2021122745

Приоритет полезной модели **30 июля 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации **15 октября 2021 г.**

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает **30 июля 2031 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 0x02ABCF5C80B1A5CF594A0A2F08092E9A118  
Владелец **Ивлиев Григорий Петрович**  
Действителен с 15.01.2021 по 15.01.2035

*Г.П. Ивлиев*