

*На правах рукописи*

**Тропец Виктория Адамовна**



**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУМАЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ**

Специальность 05.02.13 – машины, агрегаты и процессы  
(текстильная и легкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

Научный руководитель: **Виноградов Евгений Леонидович**  
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор кафедры «Автоматы»

Официальные оппоненты: **Проскуряков Николай Евгеньевич**,  
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», профессор кафедры «Технологических систем пищевых, полиграфических и упаковочных производств»

**Москалев Евгений Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», доцент кафедры «Инженерной защиты окружающей среды»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет»

Защита состоится 5 июня 2018 года в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета Д 212.236.06 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, ауд. № 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», [www.sutd.ru](http://www.sutd.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  Васильева Елизавета Константиновна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современное состояние полиграфической отрасли характеризуется значительным увеличением доли производства продукции на цифровых печатных машинах, в том числе на машинах струйной печати. Основной причиной роста объемов продукции, выполняемых по технологии струйной печати, является снижение себестоимости относительно наиболее распространенного офсетного способа. Экономия трудовых и материальных затрат при струйной печати за счет отсутствия вещественных печатных форм, упрощения и снижения объема настроечных операций и уменьшения технологических отходов становится особенно ощутимой при малых тиражах (до 1500 экз.). Тенденции развития полиграфического рынка привели к тому, что политика малых тиражей стала основной особенностью издательской деятельности. За последние три года перечисленные технические и экономические факторы способствовали увеличению объемов струйной печати в РФ до 18%. Для европейских стран этот показатель составляет сейчас  $\approx 23-25\%$ , для США – 45%.

Одним из основных элементов технологического процесса печати, определяющим качество полиграфической продукции, является бумажный носитель. Технические свойства бумаг отражаются в паспортах, которые содержат наиболее значимые показатели, например, белизну и непрозрачность. Для струйной печати общепринятой нормой является использование специальных бумаг с покрытием, а применение более дешевых «универсальных» бумаг остается проблематичным, т.к. паспортных данных недостаточно для предварительного определения параметров технологического процесса и настройки струйного печатного оборудования. Для выпуска качественной продукции необходимо оперативно оценивать в производственных условиях такие свойства запечатываемого материала, как прозрачность и оптическая неоднородность, которые являются главными индикаторами в системе «бумага-краска».

Таким образом, задача разработки технического комплекса и способа измерения оптических свойств запечатываемых материалов является актуальной для повышения эффективности использования машин струйной печати, снижения затрат на изготовление продукции и повышения качества печатных оттисков, расширения диапазона применяемых при струйной печати бумаг и уменьшения уровня технологических отходов.

**Цель и задачи работы.** Целью диссертационной работы является разработка технического комплекса и способа измерения оптических свойств бумажных носителей для повышения качества оттисков и снижения затрат на изготовление продукции.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать комплекс показателей, характеризующих оптические свойства запечатываемых материалов;
- разработать способ определения коэффициентов пропускания света листовыми объектами на оборудовании, работающем на отражение;
- разработать технический комплекс для проверки оптических свойств бумажных носителей;

– разработать комплексный способ оценки оптических свойств бумажных субстратов, в том числе их неоднородности, на сканерах, работающих на отражение;

– выполнить анализ возможности использования разработанного способа определения комплекса оптических свойств для прогнозирования качества струйной печати;

- разработать систему оптических показателей универсальных бумажных носителей, повышающую качество оттисков и снижающую материалоемкость их изготовления.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы использовались методы фотометрии, денситометрии, гравиметрии, методы статистического анализа и метод экспертных оценок.

**Научная новизна.** Новизна работы определяется тем, что:

1) разработан способ измерения коэффициента пропускания бумажных субстратов на оборудовании, работающем на отражение света, с применением зеркальной подложки, который позволяет произвести оценку светопропускной способности материала в производственных условиях;

2) разработан способ измерения неоднородности запечатываемых материалов;

3) разработан способ оценки оптических свойств бумаги для комплексного анализа основных показателей бумажного носителя и исключения дефектов при струйной печати;

4) разработан комплекс оптических показателей, позволяющий расширить диапазон применения универсальных бумаг для струйной печати.

**Практическая значимость результатов работы.** Результаты выполненной работы доведены до практической реализации в виде технического комплекса для оценки оптических свойств бумажных субстратов в производственных условиях. Предложенный способ и комплекс внедрены в производственную деятельность типографии «Цифра» (г. Петрозаводск). На разработанный способ оценки светопропускной способности запечатываемого материала с применением зеркальной подложки получен патент РФ № 2427823. На разработанный способ оценки неоднородности бумаги получен патент РФ № 2525662.

Материалы диссертации используются в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна на кафедре технологии полиграфического производства на лекциях и практических занятиях по дисциплине «Оптические свойства полиграфических материалов и продуктов» для направления 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства» (бакалавриат) и на практических занятиях по дисциплинам «Физические основы полиграфических процессов», «Стандарты и нормы» для направления 29.04.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства» (магистратура).

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были представлены на XII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика» (г. Санкт-Петербург, 2010 г.); Международной конференции молодых ученых PRINT (г. Санкт-Петербург, 2011 г.); XI, XII, XIII, XIV и XV

Міжнародних науково-практичних конференціях студентів та аспірантів «Друкарство молоді» (г. Київ, Україна, 2011 - 2015 гг.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной науки» (г. Уфа, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Наука XXI века: теория, практика, перспективы», (г. Уфа, 2014 г.); Всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки» (г. Санкт-Петербург, 2013, 2014, 2017 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 21 работа, из них 4 научных статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК, 10 тезисов докладов, 1 монография, 2 патента на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 143 страницы, 27 рисунков, 38 таблиц, 3 приложения; список литературных источников содержит 84 наименования.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, перечислены методы его проведения, показаны научная новизна и практическая значимость диссертации.

**В первой главе** представлен анализ научно-технической информации, относящейся к свойствам бумажных субстратов. Оптическим свойствам бумажных субстратов посвящены работы П. Г. Шляхтенко, М.М. Гуревича, П. Кубелки, Ф. Мунка, Д. М. Фляте, Б. Н. Шахкельдяна, Н. Паулера и др. Особое внимание уделено оптике этих объектов: дан подробный обзор показателей, характеризующих взаимодействие печатной бумаги со светом, описаны методы их определения. Значительный вклад в исследования неоднородности бумаги внесли Г. Э. Финкельштейн, В.Н. Леонтьев, Л.М. Вайсман, Ю. Г., Б.В. Галактионов, Н.В. Коряковская и др. Среди исследований влияния оптических свойств на качество печати стоит отметить работы Дж. Берни, Дж. Дугласа, И. Кьянто, Д. Джоунса, К. Луи др.

На практике исследования оптических свойств запечатываемых материалов чаще всего ограничиваются измерением немногих усредненных параметров бумаги, что является недостаточным. К тому же, описывать способность материала пропускать свет значениями чисто технических показателей – прозрачности и непрозрачности – не вполне корректно. Точные характеристики светопропускания физических объектов – это коэффициенты пропускания, определение которых требует применения оборудования, работающего на основе прохождения света через изучаемые образцы, не столь распространенного и достаточно дорогого для рядовой типографии. Количественная оценка такого параметра как неоднородность бумаги чаще всего оценивается визуально. Объясняется это, главным образом, сложностью разработанных методов количественной оценки неоднородности объектов и высокой стоимостью этого оборудования. Анализ литературных источников по данной тематике показал, что оптические свойства запечатываемого материала в значительной степени влияет на качество печати. В заключение главы сформулированы основные задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена обоснованию и апробации метода исследования оптических свойств запечатываемых материалов, дающего возможность определять характеристики не только отражения, диффузного рассеяния и поглощения света этими объектами, но и их светопропускания на приборном оборудовании, работающем на отражение.

Традиционный метод оценки коэффициентов Гуревича-Кубелки-Мунка (ГКМ) (коэффициентов поглощения ( $\alpha_n$ ) и диффузного рассеяния ( $\alpha_p$ )) заключается в необходимости произвести ряд измерений коэффициента отражения света бумажным листом, последовательно размещенном сначала на черной подложке ( $R_0$ ), а затем на абсолютно непрозрачной стопке листов ( $R_\infty$ ) или на абсолютно белой подложке. При этом нельзя с полной уверенностью утверждать, что составленная стопка бумажных листов действительно непрозрачна и результаты проведенных опытов вполне достоверны, а последующие трудоемкие математические вычисления показателей усложняют практическую применимость метода. Также возникает проблема стандартизации и стабилизации оптических свойств идеально отражающих свет эталонов. В диссертационной работе предложен другой метод оценки, основанный на применении для измерения оптических параметров печатной бумаги отражательного фотометра, черной подложки и металлического зеркала.

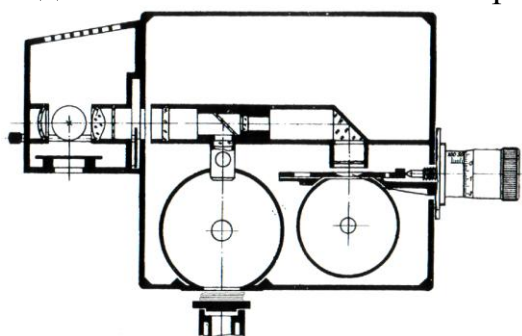


Рисунок 1 – Схема лейкометра VEB Carl Zeiss

Для проведения экспериментов использовался прибор лейкометр VEB Carl Zeiss, схема которого представлена рис. 1. Прибор представляет собой работающий на отражение интегрирующий фотометр, предназначенный для измерения коэффициентов диффузного отражения света преимущественно от почти белых образцов. Отражаемый по всем направлениям от вертикально освещенной про-

бы, световой поток сравнивается с потоком известной интенсивности, испускаемым встроенным источником света. В качестве детекторов излучения служат два фотоэлемента в компенсационной схеме, нулевые показания которой фиксируются с помощью электрометра. В ходе эксперимента на подставку прибора размещались измерительная подложка и стопка из 5 образцов бумаги. Предварительно были измерены толщина образцов ( $l$ ) на толщиномере ТБК-Т и масса бумажного образца ( $m$ ) площадью  $2500 \text{ мм}^2$  на электронных весах А&D ER-120 А. Также рассчитывался объем образца ( $V_\delta$ ). На лейкометре измерялись коэффициенты отражения света от бумажных листов, помещенных на черную подложку ( $R_0$ ) и коэффициенты отражения для листов на зеркале ( $R_1$ ). Для расчета коэффициентов поглощения  $\alpha_n$  и диффузного рассеяния  $\alpha_p$  на основе теории ГКМ для многослойных конструкций были разработаны формулы:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot \frac{(1 - R_1)(1 - R_0)}{2R_0}, \quad \alpha_p = \frac{1}{2\sqrt{A_0^2 - 1}} \left( \ln \frac{R_0 - A_0 - \sqrt{A_0^2 - 1}}{R_0 - A_0 + \sqrt{A_0^2 - 1}} - \ln \frac{A_0 + \sqrt{A_0^2 - 1}}{A_0 - \sqrt{A_0^2 - 1}} \right) \cdot \frac{ml}{V_\delta},$$

$$\text{где } A = \frac{(1 - R_1)(1 - R_0)}{2R_0} + 1.$$

Применение зеркальной подложки для измерения дополнительно дает возможность рассчитать коэффициент пропускания материала ( $T$ ). Для этого была разработана формула:

$$T = \sqrt{(R_1 - R_0) \times (1 - R_0)}.$$

Для проверки разработанной методики определения величин коэффициента пропускания ( $T_D$ ), показатель измерялся также альтернативным методом – с помощью трансмиссионного денситометра X-Rite 341. Для оценки воспроизводимости результатов измерений была произведена выборка 16 образцов из одной партии. Процедура была повторно проведена для бумаг различной массы. Оценка воспроизводимости и статистическая обработка результатов измерений проводилась в соответствии с ГОСТ Р 8.736–2011 в программе Statgraphics.

Далее оценивалась применимость нового метода путем сопоставления экспериментальных данных об оптических свойствах листовых материалов, полученных как с помощью описанного метода, так и стандартными методами для 12 бумаг различного типа. Характеристики исследуемых бумажных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых образцов

№ образца	Масса 1 кв. м. и тип бумаги	Масса образца 5×5 см, кг	Толщина листа, м	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	70 г, мелованная	0,000179±0,000002	0,00010±0,00001	720±7
2	80 г, мелованная	0,000205±0,000002	0,00011±0,00001	634±7
3	80 г, мелованная	0,000198±0,000002	0,00009±0,00001	796±7
4	115 г, мелованная	0,000284±0,000002	0,00010±0,00001	877±8
5	120 г, мелованная	0,000304±0,000002	0,00014±0,00001	866±8
6	120 г, мелованная	0,000299±0,000002	0,00014±0,00001	797±7
7	130 г, мелованная	0,000317±0,000002	0,00011±0,00001	1057±9
8	140 г, мелованная	0,000429±0,000002	0,00015±0,00001	1073±9
9	80 г, немелованная	0,000299±0,000002	0,00014±0,00001	797±7
10	120 г, немелованная	0,000317±0,000002	0,00011±0,00001	1057±9
11	60 г, типографская	0,000429±0,000002	0,00015±0,00001	1073±9
12	Калька	0,000294±0,000002	0,00015±0,00001	784±7

В таблице 2 представлены результаты оценки оптических свойств бумаги традиционными (2, 4, 6) и новым (3, 5, 7) методами.

Таблица 2 – Результаты оценки оптических свойств бумаги традиционными (2, 4, 6) и новым (3, 5, 7) методами.

№ образца	$\alpha_p$ , м <sup>2</sup> /кг	$\alpha_p$ по новому методу, м <sup>2</sup> /кг	$\alpha_n$ , м <sup>2</sup> /кг	$\alpha_n$ по новому методу, м <sup>2</sup> /кг	$T_D$	$T$
1	2	3	4	5	6	7
1	149,85	110,23	0,163	0,672	0,096	0,034
2	143,26	137,43	0,066	0,412	0,070	0,027
3	85,81	97,59	0,437	0,976	0,086	0,032
4	103,49	95,73	0,310	0,479	0,061	0,026
5	126,43	147,57	0,061	0,148	0,042	0,021

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
6	70,00	79,57	0,950	0,991	0,051	0,023
7	91,54	106,57	0,191	0,426	0,050	0,017
8	89,73	113,29	0,273	0,453	0,026	0,014
9	135,10	156,21	0,318	0,719	0,059	0,024
10	82,42	105,16	0,430	0,736	0,046	0,023
11	54,38	101,28	6,200	13,875	0,043	0,024
12	36,95	44,18	0,533	4,507	0,401	0,074

Наблюдающиеся различия между рассчитанными разными методами величинами прозрачности, коэффициентов поглощения и диффузного рассеяния объясняются, скорее всего, неточностью составления «непрозрачных» пачек. К тому же, формулы теории ГKM, содержащие коэффициент  $R_{\infty}$ , лучше использовать для достаточно толстых сплошных бумажных пластин, а не для многослойных структур (пачек), с которыми свет взаимодействует по намного более сложным законам, чем с объектами, не разделенными на тонкие слои воздушными прослойками.

В третьей главе представлены итоги разработки нового метода оптического сканирования бумажных субстратов. Особенности разработанного способа заключаются в обеспечении автоматизированного измерения полного комплекса показателей оптических свойств изучаемого объекта с применением общедоступного оборудования. На рисунке 2 представлен разработанный алгоритм автоматизации предлагаемого способа. Для количественной оценки усредненных оптических свойств бумаги и показателей ее оптической неоднородности были выбраны следующие показатели: средний коэффициент поглощения ( $\alpha_n$ ), средний коэффициент диффузного рассеяния ( $\alpha_p$ ), средний коэффициент светопропускания ( $T$ ), средняя прозрачность ( $\Pi$ ), средние линейные размеры светлых ( $l_l$ ) и темных участков ( $l_d$ ) — флокул и промоин, среднеквадратичные отклонения ( $\sigma$ ) от средних значений  $\alpha_n$ ,  $\alpha_p$ ,  $T$  и соответствующие коэффициенты вариации  $V$ .

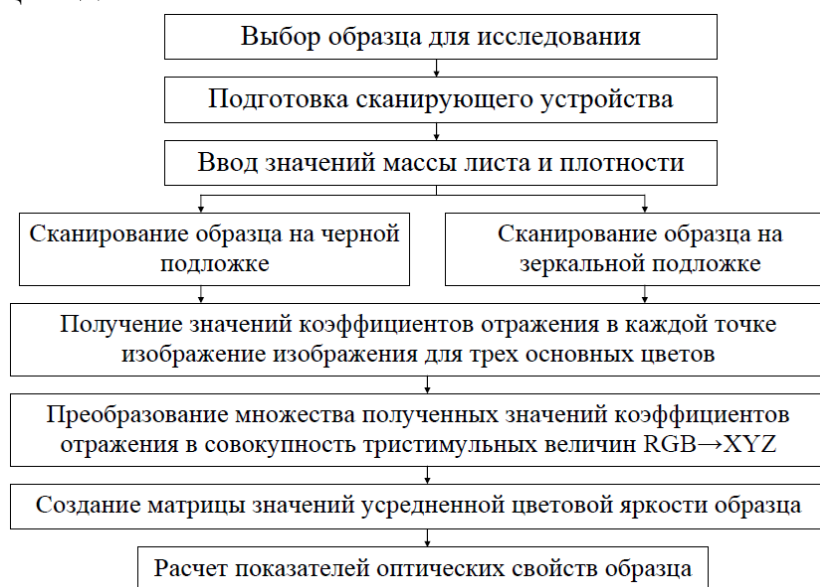


Рисунок 2 – Алгоритм автоматизированной комплексной оценки оптических свойств бумаги



В первую группу вошли 4 образца, заметно различающиеся по показателям массы, толщины, белизны и непрозрачности. Вторую группу составили 6 образцов, близких по толщине и не различающихся по «паспортной» массе листов единичной площади ( $80 \text{ г/м}^2$ ). На них оценивалась чувствительность нового способа и возможность его применения для выбора наилучшего субстрата из нескольких типовых в условиях типографии. Характеристики образцов представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Технические характеристики исследованных образцов бумаги, различающихся массой листов единичной площади

№	Наименование	Характеристики				
		Масса $1 \text{ м}^2$ , $\text{г/м}^2$	Толщина листа, $\text{мкм}$	Белизна, %	Непрозрачность, %	Пухлость, $\text{см}^3/\text{г}$
1	Образец 1.1	$65 \pm 2$	$75 \pm 2$	$80 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,15 \pm 0,1$
2	Образец 1.2	$70 \pm 2$	$95 \pm 2$	$90 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,36 \pm 0,1$
3	Образец 1.3	$80 \pm 2$	$95 \pm 2$	$146 \pm 3$	$91 \pm 3$	$1,30 \pm 0,1$
4	Образец 1.4	$120 \pm 3$	$130 \pm 3$	$128 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,08 \pm 0,1$

Таблица 4 – Технические характеристики исследованных образцов печатной бумаги с совпадающими массами листов единичной площади

№	Наименование	Характеристики				
		Масса $1 \text{ м}^2$ , $\text{г/м}^2$	Толщина листа, $\text{мкм}$	Белизна, %	Непрозрачность, %	Пухлость, $\text{см}^3/\text{г}$
1	Образец 2.1	$80 \pm 2$	$104 \pm 2$	$146 \pm 3$	$91 \pm 3$	$1,30 \pm 0,1$
2	Образец 2.2	$80 \pm 2$	$91 \pm 2$	$80 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,14 \pm 0,1$
3	Образец 2.3	$80 \pm 2$	$102 \pm 2$	$149 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,28 \pm 0,1$
4	Образец 2.4	$80 \pm 2$	$95 \pm 2$	$105 \pm 3$	$90 \pm 3$	$1,19 \pm 0,1$
5	Образец 2.5	$80 \pm 2$	$95 \pm 2$	$80 \pm 3$	$91 \pm 3$	$1,19 \pm 0,1$
6	Образец 2.6	$80 \pm 2$	$102 \pm 2$	$150 \pm 3$	$93 \pm 3$	$1,28 \pm 0,1$



Рисунок 3 – Универсальный технологический комплекс определения оптических свойств бумаг

Все образцы перед сканированием последовательно размещались без смещения на черной и зеркальной подложках. Компьютерный расчет их оптических параметров производился по разработанному алгоритму. Для реализации предлагаемого способа был разработан технологический комплекс (рисунок 3), в

состав которого входят компьютер и планшетный сканер, на крышке которого последовательно закрепляются черная и зеркальная подложки.

В таблице 5 представлен пример результатов измерения для бумаг первой группы.

Таблица 5 – Результаты комплексной оценки оптических свойств бумаг различной массы

№	Наименование показателя	Образцы			
		Образец 1.1	Образец 1.2	Образец 1.3	Образец 1.4
1	$\langle \alpha_n \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	0,198	0,122	0,108	0,137
2	$\sigma_{an}$	0,097	0,061	0,079	0,087
3	$V_{an}$	0,489	0,503	0,728	0,631
4	$\langle \alpha_p \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	156,73	195,90	813,83	200,19
5	$\sigma_{ap}$	40,12	82,61	1348,18	253,67
6	$V_{ap}$	0,256	0,422	1,658	1,267
7	$\langle T \rangle$	0,076	0,063	0,013	0,034
8	$\sigma_T$	0,018	0,015	0,007	0,011
9	$V_T$	0,235	0,239	0,526	0,327
10	$\langle II \rangle$ , %	7,19	5,51	0,71	2,0
11	$\langle l_l \rangle$ , мм	3,51	3,75	5,40	4,24
12	$\langle l_d \rangle$ , мм	3,10	3,36	3,96	3,90

По результатам исследования первой группы бумаг было установлено, что с возрастанием белизны образцов закономерно увеличиваются значения их коэффициентов  $\alpha_p$ . Величины коэффициентов пропускания коррелируют со значениями технического показателя прозрачности (коэффициент корреляции 0,8).

Все образцы бумаг второй группы имели близкие усредненные показатели отражательной способности, хотя по «паспортной» белизне они друг от друга заметно отличаются. Наиболее вероятная причина различий состоит в использовании этими производителями разных методик оптических измерений. Два образца характеризовались экстремально высокими значениями  $\alpha_p$ . Они содержат флуоресцентные отбеливающие агенты. Прозрачность таких бумаг заметно ниже прозрачности других образцов группы.

Разработанный способ позволяет также характеризовать неоднородность материала. Образцы первой группы ранжировались по степени неоднородности: низший ранг (1) присваивался самой однородной бумаге, имеющей самый низкий коэффициент вариации и характеризующейся минимальными размерами светлых и темных участков. Итоги ранжирования представлены в таблице 6.

Таблица 6 — Ранжирование образцов первой группы по неоднородности (V) и структурным показателям ( $\langle l_l \rangle$ ,  $\langle l_d \rangle$ )

№	Образцы	Показатель неоднородности для определения ранга				
		$V_{\alpha_n}$	$V_{\alpha_p}$	$V_T$	$\langle l_l \rangle$	$\langle l_d \rangle$
		Ранг				
1	Образец 1.1	1	1	1	1	1
2	Образец 1.2	2	2	2	2	2
3	Образец 1.3	4	4	4	4	4
4	Образец 1.4	3	3	3	3	3

Таблица 7 содержит данные о ранжировании бумаг второй группы по степени неоднородности.

Таблица 7 — Ранжирование образцов второй группы по показателям неоднородности и структурным показателям

№ п/п	Образцы	Показатель неоднородности для определения ранга				
		$V_{\alpha_{II}}$	$V_{\alpha_P}$	$V_T$	$\langle l_l \rangle$	$\langle l_d \rangle$
		Ранг				
1	Образец 2.1	6	6	6	6	6
2	Образец 2.2	5	1	3	3	4
3	Образец 2.3	4	5	1	1	1
4	Образец 2.4	3	4	4	4	5
5	Образец 2.5	1	3	2	2	2
6	Образец 2.6	2	2	5	5	3

Стоит отметить, что понятие неоднородности печатной бумаги требует уточнения: утверждения «однороден» и «неоднороден» без указания, по параметрам каких именно свойств изучаемого объекта сделано данное заключение, одинаково неопределенны. Если волокна целлюлозы распределены по бумажному волокну равномерно, тогда коэффициент вариации  $V_T$ , скорее всего, будет небольшим; но если в нем неравномерно распределен минеральный наполнитель, то это приведет к завышению коэффициента  $V_{\alpha_n}$ . Например, образец 2.1 по средним значениям оптических показателей являлся субстратом наивысшего качества, но по всем параметрам неоднородности значительно уступал прочим.

Далее проводилось экспериментальное сопоставление трех методов исследования неоднородности печатной бумаги (гравиметрического, рефлектометрического без сканирования и метода экспертных оценок) с предлагаемым способом сканирования при изучении бумажных субстратов 2.6, 2.1 и 1.2. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 — Результаты оценки неоднородности бумаг различными методами

№	Наименование показателя	Значение показателя		
		Образец 2.6	Образец 2.1	Образец 1.2
1	$\sigma_{\text{массы}}$	0,0004	0,0005	0,0005
2	$\sigma_{\text{светлоты } L^*}$	0,18	0,26	0,40
3	Ранг по заключению экспертов	1 (самая однородная)	2	3 (самая неоднородная)

По полученным результатам применения всех методов можно сделать вывод, что самой однородной является бумага 2.6, а наиболее неоднородна бумага 1.2. Гравиметрический метод не показал существенного различия между образцами. При сравнительном анализе результатов нового способа комплексной оценки наиболее неоднородным был признан образец 2.1. Причиной различия в результатах на наш взгляд может являться недостаточная чувствительность исследуемых методов. Метод экспертных оценок не позволяет количественно охарактеризовать неоднородность объектов. Гравиметрия и рефлектометрия без сканирования относятся к числу количественных методов, но они недостаточно информативны, а также не отличаются быстродействием.

**Четвертая глава** содержит характеристику технической эффективности предлагаемого способа. Оценивалась возможность применения способа для

прогнозирования возникновения дефектов струйной печати. На первом этапе оценивалось возможность возникновения неоднородности (пятнистости) печати.

Для изготовления образцов использовалось оборудование струйной печати. Были изготовлены 10 модельных тест-объектов, черных квадратов размером 160×160 мм со сплошной заливкой. Модельные оттиски делились на квадратные участки, для каждого из которых находились средние значения оптической плотности ( $D_{cp}$ ) и  $\sigma$ . Как и исследованные бумаги, тест-объекты были разделены на две группы и нумеровались они так же, как субстраты. Их пятнистость характеризовалась методом денситометрии по ISO 13660. Результаты измерений и расчетов представлены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 — Характеристики неоднородности струйной печати для оттисков, напечатанных на бумагах первой группы

Показатели	Номера образцов и значения показателей			
	Образец 1.1	Образец 1.2	Образец 1.3	Образец 1.4
$D_{cp}$	1,28	1,29	1,23	1,40
$\sigma_D$	0,05	0,09	0,17	0,11

Таблица 10 — Характеристики неоднородности струйной печати для тест-объектов второй группы

Показатели	Номера образцов и значения показателей					
	Образец 2.1	Образец 2.2	Образец 2.3	Образец 2.4	Образец 2.5	Образец 2.6
$D_{cp}$	1,23	1,33	1,31	1,26	1,36	1,34
$\sigma_D$	0,17	0,04	0,08	0,14	0,09	0,05

Образцы, выделяющиеся по параметрам неоднородности имели достаточно высокие показатели пятнистости.

Во второй части четвертой главы представлены результаты анализа возможности использования разработанного способа для изучения «просвечивания-пробивания» изображения на обратную сторону листа, что приводит к выпуску заведомо бракованной продукции. Краскопроницаемость печатной бумаги оценивается по оптической плотности обратной стороны модельного оттиска: чем выше значение оптической плотности, тем хуже субстрат. В таблицах 11 и 12 подведены итоги денситометрии оттисков разных групп.

Таблица 11 — Результаты измерений оптической плотности обратной стороны модельных оттисков на бумагах первой группы

Параметр	Номера образцов и значения параметров			
	Образец 1.1	Образец 1.2	Образец 1.3	Образец 1.4
$D_{cp}$	0,11±0,022	0,09±0,011	0,07±0,008	0,04±0,002

Из таблицы 11 следует, что средняя оптическая плотность образцов первой группы монотонно снижается с увеличением их толщины.

Таблица 12 — Результаты измерений оптической плотности обратной стороны оттисков на бумагах второй группы

Параметр	Номера образцов и численные значения параметров					
	Образец 2.1	Образец 2.2	Образец 2.3	Образец 2.4	Образец 2.5	Образец 2.6
$D_{cp}$	0,08±0,033	0,06±0,004	0,07±0,008	0,07±0,007	0,06±0,006	0,06±0,002

Как видно из таблицы 12, по средней оптической плотности образцы второй группы отличаются незначительно. Самый неоднородный модельный оттиск 2.1 также имеет наихудшие результаты в группе.

Оптические свойства оборотной стороны всех модельных оттисков изучались также предлагаемым способом рефлектомерии (таблицы 13 и 14).

Таблица 13 — Результаты комплексного исследования оптических свойств оборотной стороны модельных оттисков первой группы

№	Наименование показателей	Номера образцов и значения показателей			
		Образец 1.1	Образец 1.2	Образец 1.3	Образец 1.4
1	$\langle \alpha_n \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	1,13	0,92	1,27	0,28
2	$\langle \alpha_p \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	57,96	83,50	184,21	165,44
3	$\langle l_l \rangle$ , мм	3,98	4,11	6,01	4,30
4	$\langle l_d \rangle$ , мм	4,02	4,03	4,98	3,85

Таблица 14 — Оптические параметры оборотной стороны модельных оттисков, напечатанных на бумагах второй группы

№	Наименование показателя	Номера образцов и значения показателей					
		Образец 2.1	Образец 2.2	Образец 2.3	Образец 2.4	Образец 2.5	Образец 2.6
1	$\langle \alpha_n \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	1,27	0,77	0,85	0,97	0,66	0,77
2	$\langle \alpha_p \rangle$ , м <sup>2</sup> /кг	184,21	142,14	302,18	107,72	112,95	215,88
3	$\langle l_l \rangle$ , мм	6,01	4,38	4,23	5,11	4,27	4,52
4	$\langle l_d \rangle$ , мм	4,98	4,01	3,36	4,69	3,75	3,98

Для всех образцов отмечается увеличение коэффициента поглощения, коэффициента пропускания и линейных размеров неоднородностей, снижение коэффициента диффузного рассеяния по сравнению с соответствующими параметрами оптических свойств незапечатанных субстратов. Это свидетельствует о прохождении краски на оборотную сторону материала.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основании анализа литературных источников и предварительных экспериментальных исследований установлено, что используемые в полиграфии методы оценки оптических свойств запечатываемых материалов не обеспечивают получение необходимой информации для оценки пригодности материала к печати. Выполненные исследования и разработка технического комплекса обеспечили комплексный анализ отражательной и светопропускной способности листового запечатываемого материала:

1. Разработан технический комплекс и алгоритм автоматизации для проверки оптических свойств запечатываемого материала в условиях полиграфического производства.

2. Обоснован комплекс показателей, характеризующий оптические свойства запечатываемого материала, включающий коэффициент поглощения ( $\alpha_n$ ), коэффициент диффузного рассеяния ( $\alpha_p$ ), коэффициент светопропускания ( $T$ ), прозрачность ( $P$ ).

3. Разработан новый способ оценки светопропускной способности материала (Патент РФ № 2427823), позволяющий определять коэффициент светопропускания на оборудовании, работающем на отражение.

4. Разработан новый способ оценки неоднородности запечатываемого материала в производственных условиях, превосходящий аналоги по информативности и являющийся менее трудоемким и затратным по сравнению с действующими (Патент РФ № 252566);

5. Разработан новый способ комплексной оценки оптических свойств запечатываемых материалов по 12 показателям.

6. Выполнен анализ влияния оптических свойств материала на возникновение дефектов струйной печати. Показано, что неоднородность материала влияет на появление «пятнистости» оттиска. Установлено, что предложенный способ оценки неоднородности бумаги обладает высокой прогностической способностью относительно возникновения данного дефекта, в отличие от традиционных методов, что позволяет повысить качество оттисков и снизить технологические отходы.

7. Проведен анализ возможности применения нового комплексного способа для оценки степени «просвечивания-пробивания краски» на оборотную сторону оттиска в струйной печати.

8. Разработаны инженерные рекомендации для применения предлагаемого комплексного способа для оценки оптических свойств запечатываемого материала в производственных условиях.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК:**

1. Виноградов, Е. Л. Исследование оптических свойств печатной бумаги: комплексный подход / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011. – № 4 (19). – С. 47-51.

2. Виноградов, Е. Л. Новый способ исследования оптических свойств запечатываемых материалов с применением сканирующих устройств, работающих на отражение / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец, К. А. Чекменев // Дизайн. Материалы. Технология. – 2015. – № 1 (36). – С. 53-56.

3. Виноградов, Е. Л. Исследование прогностической способности различных методов оценки неоднородности бумаги при определении ее влияния на дефекты струйной печати / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец // Вестник СПГУТД: Выпуск 1: Естественные и технические науки / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб. : СПбГУПТД, 2016. – С. 90-94.

4. Тропец, В.А. Исследование влияния оптических свойств бумаги на возникновение дефекта «просвечивание-пробивание краски» на оборотную сторону оттиска струйной печати / В. А. Тропец // Вестник СПГУТД: Выпуск 1: Естественные и технические науки / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб. : СПбГУПТД, 2017.

**Публикации в научных журналах и сборниках:**

5. Тропец, В. А. Комплексный подход к определению показателей оптических свойств бумажных подложек / В. А. Тропец // Вестник молодых ученых

СПГУТД: сб. науч. тр. в 4 ч. Ч 1: Естественные и технические науки / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: СПГУТД, 2011. – С. 27-30.

6. Тропец, В. А. Подходы к определению макронеоднородности бумаги / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // Вестник молодых ученых СПГУТД: сб. науч. тр.: Выпуск 1: Естественные и технические науки / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: СПГУТД, 2012. – С. 90-94.

7. Тропец, В. А. Комплексный подход к оценке оптических свойств полиграфических материалов на основе результатов измерений их отражательной и пропускательной способности / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // Актуальные проблемы современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции : в 4 ч. Ч. 4. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2013. – С. 251-256.

8. Тропец, В. А. Исследование влияния неоднородности бумаги на качество печати / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // Наука XXI века: теория, практика, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа : РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 43–48.

#### **Монографии:**

9. Ваганов, В. В. Оптика бумаги и оттиска / В.В. Ваганов, Е.Л. Виноградов, В. А. Тропец. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2015. - 144 с.

#### **Патенты:**

10. Пат. 2427823 РФ, МПК G 01 N 21/85. Способ определения прозрачности плоских светопропускающих запечатываемых материалов / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО СПГУТД. – № 2010114377/28 ; заявл. 12.04.2010; опубл. 27.08.2011, Бюл. № 22.

11. Пат. 2525662 РФ, МПК G 01 N 21/85. Способ определения прозрачности плоских светопропускающих запечатываемых материалов / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО СПГУТД. – № 2012146149/28 ; заявл. 29.10.2012; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23.

#### **Материалы и тезисы конференций:**

12. Виноградов, Е. Л. Метод измерения параметров оптических свойств печатной бумагой / Е. Л. Виноградов, В. А. Тропец // XII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика»: труды конференции / СПОИСУ. – СПб, 2010. – С. 337-338.

13. Тропец, В. А. Показатели оптических свойств печатных бумаг и разработка нового способа их измерения / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // Международная конференция молодых ученых Print–2011 : тез. докл. / Петербургский ин-т печати. – СПб, 2011. – С. 92-93.

14. Тропец, В. А. Способы измерения показателей оптических свойств печатных бумаг / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // 11 Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів Друкарство молоді: тез. докл. / НТУУ. – Киев, 2011. С. 178-179.

15. Тропец, В. А. Способы измерения макронеоднородности печатных бумаг / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // 12 Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів Друкарство молоді: тез. докл. / НТУУ. – Киев, 2012. С. 194-196.

16. Тропец, В. А. Новый подход к изучению макронеоднородности печатных бумаг / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов // 13 Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів Друкарство молоді: тез. докл. / НТУУ. – Киев, 2012. С. 8-9.

17. Тропец, В. А. Комплексный подход к изучению неоднородности печатных подложек / В. А. Тропец, Е. Л. Виноградов / Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб, 2013. – С. 204.

18. Чекменева, А. А. Принципы построения систем on-line мониторинга оптических, геометрических, адсорбционных и репродукционных свойств печатных материалов / А. А. Чекменева, Т. С. Токарева, А. А. Можаяева, Е. Л. Виноградов, С. П. Гнатюк, В. А. Тропец // 14 Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів Друкарство молоді: тез. докл. / НТУУ. – Киев, 2014. – С. 132–133.

19. Тропец, В. А. Применение FMEA-методологии для прогнозирования дефектов и предотвращения их возникновения при производстве полиграфической продукции / Тропец В. А., Иванова К. С. // Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб. : ФГБОУВП «СПГУТД», 2014. – С. 195.

20. Тропец, В. А. Application of quality function deployment for digital print-house production / В. А. Тропец, Е. В. Соколова // 15 Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів Друкарство молоді: тез. докл. / НТУУ. – Киев, 2015. – С. 17

21. Рядовкина, Д. В. Исследование печатно-технических свойств краски азиатского производителя / Д. В. Рядовкина, В. А. Тропец, И. Р. Чошина // Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т пром. технологий и дизайна. – СПб. : СПбГУПТД, 2017. – С. 164-165.