

2Н/88040
(039)

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ИМЕНИ А.В. ЛЫКОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК 532.546

СТАРЧЕНКО
ОЛЬГА ПАВЛОВНА

**ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ
ПЕЧАТАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ КРАСКИ
В ПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО БУМАГИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
01.04.14 — Теплофизика и теоретическая теплотехника

Минск 2010

**Работа выполнена в Учреждении образования
«Белорусский государственный технологический университет»**

Научный руководитель **Кулак Михаил Иосифович,**
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой полиграфических
производств Белорусского государственного
технологического университета

Официальные оппоненты: **Павлюкевич Николай Владимирович,**
доктор физико-математических наук, чл.-корр.
НАН Беларуси, главный научный сотрудник
Института тепло- и массообмена имени
А.В. Лыкова НАН Беларуси

Бровко Геннадий Петрович,
доктор технических наук, заведующий
лабораторией физико-химической механики
природных дисперсионных систем Института
природопользования НАН Беларуси

Опонирующая организация **Учреждение образования «Белорусский
национальный технический университет»**

Защита состоится 29 июня 2010 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите
диссертаций Д 01.13.01 при Государственном научном учреждении «Институт
тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси» по адресу: 220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, корпус 3, конференц-
зал. E-mail совета: sovets@itmo.by. Телефон ученого секретаря совета:
(+375 17) 284-13-50; факс: (+375 17) 292-25-13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена
имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»

Автореферат разослан мая 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций Д 01.13.01
кандидат физико-математических наук



А.Н. Мигун

24 // 84040
(039)

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация технологического процесса изготовления печатной продукции, увеличение количества и разнообразия заказов при одновременном снижении их тиражей в условиях высокой конкуренции и постоянного требования заказчиков по повышению качества печати и снижению издержек увеличивают актуальность и ценность исследований, направленных на более глубокое понимание физико-механических процессов, происходящих в зоне печатного контакта. Основную роль в печатном контакте играет процесс переноса вязкой краски с отдающей на воспринимающую поверхность и ее фильтрация в поровом пространстве этой поверхности. При этом в контакте отдающая поверхность испытывает нелинейную деформацию, которая и определяет направление переноса краски. В опубликованных ранее работах, выполненных главным образом экспериментальными методами, сложная задача микромеханики печатного контакта разбита на ряд подзадач в упрощенной схематической постановке: рассматривался жесткий контакт; отдельно исследовалась проницаемость бумаги без учета геометрии контакта. Такие исследования не позволяли составить интегральное представление о влиянии комплекса основных конструктивных и технологических параметров на процесс просачивания краски в поровом пространстве бумаги.

Таким образом, существующие подходы показали свою ограниченность как для понимания сущности процессов, происходящих в печатном контакте, так и при решении практических проблем технологии печатных процессов. Поэтому предложенный в диссертационной работе подход к описанию и исследованию закономерностей фильтрации печатной краски в поровом пространстве бумаги на основе учета фрактальной неоднородности структуры поверхностей печатного контакта является актуальным и перспективным.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ, проводимых кафедрой полиграфических производств Белорусского государственного технологического университета с непосредственным участием автора, по следующим тематикам: ГБ 38-97 «Исследование технологических процессов полиграфического производства с целью повышения качества изданий» (1997–2002 гг.); ГБ 38-02 «Моделирование производственных процессов в издательско-полиграфическом комплексе Беларуси с целью совершенствования и оптимизации управления и технологий», раздел 1 «Моделирование технологических процессов полиграфического производства с целью их совершенствования и повышения эффективности» (2002–2004 гг.); ГБ 38-06 «Комплексные исследования по механике и управлению информационными потоками и процессами воспроизведения информации в печатных системах», раздел 1 «Исследование механики поверхностей печатного контакта с учетом неоднородности их структуры», раздел 2 «Компьютерное моделирование блоков и аппаратов печатных систем» (2006–2011 гг.), а также в соответствии с заданиями Государственного комитета Республики Беларусь по печати ХД 99-048 «Исследование влияния фрактальных особенностей структурно-механических свойств бумаги на ее поведение в полиграфических процессах»

(№ ГР 19993653, 1999–2000 гг.) и Министерства информации Республики Беларусь ХД 23-017 «Разработка метода оценки влияния фрактальной структуры поверхности печатного контакта на процесс переноса краски и оптимизация организационного управления полиграфической промышленностью на основе имитационных моделей» (№ ГР 20031933, 2003–2004 гг.).

Тема диссертации соответствует «Перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы», утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 512 от 17.05.2005. В частности, направлению 2. Механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения: *фундаментальным научным исследованиям по тематике 2.2. Физика, химия и механика поверхности; механика адаптивных материалов и конструкций, управление структурой и свойствами поверхности, в том числе на наноструктурном уровне; прикладным научным исследованиям по тематике 2.3. Компьютерное моделирование и испытание машин и механизмов.*

Цель и задачи исследования. Цель работы – установить закономерности проникновения сплошного и дискретного фронта вязкой печатной краски в неоднородное поровое пространство бумаги при наличии фрактальной неоднородности структуры поверхностей печатного контакта.

Для достижения цели были поставлены следующие основные задачи:

– применить фрактальный подход при исследовании нелинейных взаимосвязей параметров структуры и проницаемости пористых сред, в частности бумаги, обуславливающих механизм фильтрации в этих средах печатной краски;

– предложить метод описания упруго-прочностных свойств бумаги, упругого покрытия краскоотдающей поверхности, который позволит построить зависимости распределения давления в зоне печатного контакта с учетом неоднородности структуры отдающей и воспринимающей краску поверхностей;

– оценить с помощью теоретической модели влияние неоднородности порового пространства бумаги на просачивание краски при условии сплошного и дискретного фронта ее проникновения под воздействием давления и температуры;

– сформулировать практические рекомендации по использованию разработанных моделей в системах управления печатным процессом;

– оценить эффективность внедрения разработок в производство.

Объект исследования – процесс просачивания печатной краски под воздействием давления и температуры. **Предмет исследования** – параметры процесса и характеристики материалов поверхностей, находящихся в зоне печатного контакта, а также капиллярного впитывания краски в условиях теплового воздействия.

Выбор в качестве объекта исследования процесса протекания печатной краски обосновывается центральной ролью фильтрации жидкости в исследовании закономерностей проникновения краски в поровое пространство запечатываемого материала под воздействием давления и температуры, отсутствием возможности реалистичного описания процессов в полосе печатного контакта без учета неоднородности структуры контактирующих поверхностей, необхо-

димостью совершенствования методов управления качеством продукции в условиях интенсификации технологического процесса печати.

Положения, выносимые на защиту

1. Новый структурный подход к теоретическому описанию процесса фильтрации вязких жидкостей в волокнистых средах, в частности печатной краски в бумаге, отличающийся возможностью учета нелинейных взаимосвязей параметров структуры и проницаемости пористых сред, позволяющий охватить все уровни структуры порового пространства путем их мультифрактального описания, учесть корреляцию и описать синергические эффекты в различных видах печатной бумаги.

2. Методика определения упруго-прочностных свойств, пористости материалов отдающей и воспринимающей краску поверхностей, построенная на основании теории структур, отличающаяся возможностью учета фрактальной неоднородности характеристик материалов, тепловых воздействий, позволяющая прогнозировать их основные технологические свойства.

3. Теоретическая модель для расчета распределения давления в зоне печатного контакта, учитывающая геометрию контактирующих поверхностей, их структурную неоднородность, позволяющая расширить возможности управления процессом фильтрации краски в поровом пространстве запечатываемого материала, в том числе с учетом тепловых воздействий.

4. Методика расчета зависимости количества проникшей в поровое пространство запечатываемого материала краски от давления в условиях ее сплошного и дискретного фронта, учитывающая нелинейную взаимосвязь структуры и проницаемости пористой среды, реологические свойства печатных красок и температурный фактор, позволяющая более объективно описать основные режимы и параметры технологического процесса печати.

5. Новая принципиальная схема управления процессом печати, отличающаяся учетом структурных особенностей всех поверхностей, находящихся в зоне печатного контакта, и возможностью формирования предварительных управляющих воздействий в красочном и печатном аппаратах печатных машин, позволяющая стабилизировать качество продукции.

Личный вклад соискателя. Все изложенные в диссертации результаты получены автором лично на основе описанных в работе расчетных и экспериментальных методов. Вклад соавторов в опубликованных работах заключается в научном руководстве при постановке задач, анализе и описании результатов. Автор принимал непосредственное участие в интерпретации и обсуждении полученных результатов, написании научных статей и отчетов, в опытно-промышленной проверке и внедрении метода автоматизированного исследования структуры поверхностей печатного контакта.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации докладывались и получили положительную оценку на VIII Белорусской математической конференции (Минск, 2000); Международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (Минск, 2000); XLIII Международной конференции «Актуальные проблемы прочности», подсекция «Машиностроение» (Витебск, 2004); Международной научно-

технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (Минск, 2005); Международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (Минск 2009); 63, 64, 66–71, 74 научно-технических конференциях БГТУ, секция «Издательское дело и полиграфия» (Минск, 1999, 2000, 2002–2007, 2010 гг.).

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертационного исследования опубликованы 3 главы в двух монографиях, 13 научных статей, 4 статьи и 1 тезисы доклада в сборниках статей и материалах конференций. Объем публикаций по теме диссертации в авторских листах составляет: главы в монографиях и научные статьи – 17,6; материалы и тезисы докладов научных конференций – 1,4.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения и 10 приложений. Общий объем диссертации 204 страницы, 109 рисунков, 9 таблиц, 165 формул и 142 наименования использованных источников, 10 приложений на 23 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, ее связь с крупными научными программами и темами, определены основные направления исследования, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе проанализированы феноменологические и статистические теории переноса в пористых средах, рассмотрены микромеханика переноса краски в поровом пространстве бумаги в условиях упругого контакта, кинетика проникания жидкости в капилляр, а также влияние температуры на капиллярное впитывание краски, предложен расчет методами теории фракталов нелинейных взаимосвязей параметров структуры и проницаемости пористых сред.

Решение задачи установления закономерностей проникновения сплошно-го и дискретного фронта вязкой печатной краски в неоднородное поровое пространство бумаги требует разработки методики описания сложных нелинейных взаимосвязей параметров структуры и физико-механических свойств бумаги как стохастической волокнистой системы.

С точки зрения современных структурных представлений проникновение печатной краски в бумагу в условиях упругого контакта можно считать процессом протекания (просачивания) вязкой ньютоновской жидкости в неоднородную пористую среду. Этот процесс описывается законом фильтрации Дарси:

$$Q = Wb = -\frac{K_{\Pi}}{\eta_0} \left(\frac{dP}{dx} \right), \quad (1)$$

где Q – расход краски, W – скорость проникновения краски, b – ширина щелевого зазора между двумя волокнами бумаги, K_{Π} – коэффициент проницаемости бумаги, η_0 – динамическая вязкость краски, dP/dx – градиент давления.

Коэффициент проницаемости является структурно-чувствительным параметром и используется в работе для построения теории процесса проникновения краски в поровое пространство бумаги с учетом его неоднородно-

сти. В рамках модели извилистых капилляров коэффициент проницаемости пористой среды линейно-вязкой жидкостью равен

$$K_{\Pi} = k_{\Pi} \Pi / \beta, \quad (2)$$

где k_{Π} – коэффициент проницаемости элементарной поровой ячейки, Π – пористость среды, β – коэффициент извилистости капилляров.

Элементарная поровая ячейка рассматривалась как щелевой зазор шириной b , образованный двумя волокнами бумаги радиусом r_b .

В работе скелет бумаги рассматривается как фрактальный кластер, закон распределения плотности которого по толщине листа $\rho(x)$ убывает по закону

$$\rho(x) = \rho_b (x / r_b)^{D-d} \quad (3)$$

где ρ_b – плотность материала частиц кластера (волокон бумаги), D – фрактальная размерность кластера, d – евклидова размерность пространства.

В соответствии с (3) пористость Π можно ввести как

$$\Pi(x) = 1 - \rho(x) / \rho_b = 1 - (x / r_b)^{D-d} \quad (4)$$

Для определения коэффициента извилистости капилляров β используется соотношение, представляющее увеличение пути l , проходимого частицами проникающей жидкости за счет диффузии и случайных блужданий в поровом пространстве бумаги. Диффузионный фронт имеет фрактальную структуру, характеризуемую размерностью G . Множество траекторий частиц проникающей жидкости образуют гиперкластер с топологической размерностью H . Диффузионный фронт представляет собой пересечение фрактального кластера порового пространства с размерностью D_{Π} и гиперкластера траекторий.

В соответствии с представлениями теории фракталов увеличение пути l при блужданиях по кластеру размером R и фрактальной размерностью H составляет

$$l = (R / r_b)^{H/d} \quad (5)$$

Размер кластера – области порового пространства, доступной для проникновения краски, – определяется радиусом корреляции кластера

$$R = h \Psi^{-\nu_c}, \quad (6)$$

где h – толщина листа бумаги, ν_c – критический индекс радиуса корреляции кластера пор.

Параметр Ψ в формуле (6) определяется следующим образом:

$$\Psi = \left[(\Pi - \Pi_c) / (1 - \Pi_c) \right], \quad (7)$$

где Π_c – критическая пористость, при которой начинается протекание краски.

С учетом (6) выражение для l (5) имеет вид

$$l = (h / r_b)^{\frac{H}{d}} \Psi^{-\frac{\nu_c H}{d}} \quad (8)$$

Топологические размерности H , G и D_{Π} связаны зависимостью

$$G = H + D_{\Pi} - d. \quad (9)$$

Окончательное выражение для β порового пространства имеет вид

$$\beta = l/h = (h/r_0)^{\frac{H}{d}-1} \Psi^{-\frac{v_x H}{d}} \quad (10)$$

Учитывая (4) и (10), окончательное выражение для коэффициента проницаемости K_{Π} можно представить следующим образом:

$$K_{\Pi} = k_{\Pi} (h/r_0)^{1-\frac{H}{d}} \Psi^{\frac{v_x H}{d}} [1 - (x/r_0)^{D-d}]. \quad (11)$$

Капиллярное впитывание краски в поровое пространство бумаги при выходе бумажного листа из зоны печати определяется уравнением Уошборна

$$l_x = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ж}} r t \cos \theta}{2\eta}}, \quad (12)$$

где l_x – длина капилляра, $\sigma_{\text{ж}}$ – поверхностное натяжение краски, θ – краевой угол смачивания, r – радиус капилляра, t – время, η – вязкость краски.

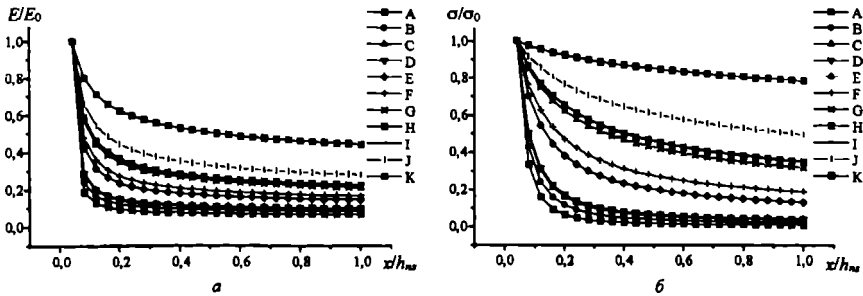
Предлагаемая методика расчета базируется на учете флуктуаций плотности скелета пористых материалов и подчеркивает их определяющую роль в процессах, связанных с фильтрацией вязких жидкостей в пористых средах.

Во второй главе исследованы температурные зависимости реологических свойств краски, упруго-прочностные свойства бумаги и упругие свойства покрытия краскоотдающей поверхности с учетом фрактальной неоднородности, распределение давления по ширине площадки печатного контакта с учетом неоднородности структуры печатающих поверхностей при использовании однослойных и многослойных упругих покрытий.

На величину капиллярного впитывания краски оказывает влияние температура. Температурные коэффициенты вязкости краски составляют 1,8–2,5 Па·с/град, поверхностного натяжения – 0,10–0,13 мН·м⁻¹/град. Температурные коэффициенты косинуса краевого угла смачивания краски для образцов газетной и офсетной бумаги при нагревании составляют 2·10⁻³ и 3·10⁻³ 1/град, для мелованной глянцевои и матовой бумаги – 1·10⁻⁴ 1/град. Наибольший вклад в изменение капиллярного впитывания краски вносит коэффициент вязкости.

Прочностные свойства бумаги и ее упругость имеют большое практическое значение. С точки зрения теории структур бумагу как неупорядоченный материал можно считать фрактальным кластером размерности D . При построении распределения модулей упругости и прочности в таких кластерах было принято, что скелет бумаги выполняет роль матрицы, а полости (поры) являются включениями (наполнителем). Результаты вычисления распределения модулей Юнга E_i в единицах модулей волокон бумаги и прочности σ в ее приповерхностных слоях по предложенной методике представлены на рисунках 1а и 1б. Из рисунка 1 видно, что упругие характеристики, а также прочность бумаги изменяются в широких пределах при переходе от центра к поверхности бумажного листа.

Описание неоднородности структуры бумаги через распределение упруго-прочностных свойств по толщине листа позволяет рассчитать упругие свойства одно- и многослойных покрытий краскоотдающей поверхности. Поскольку для модулей упругости бумаги E характерна сильная неоднородность, то для расчета деформации необходимо использовать закон Гука в дифференциальной форме



A – бумага АО «Волга»; В – Балахнинского ЦБК; С – цветная Балахнинского ЦБК;
 D – офсетная; E – Lumi Silk; F – Union Art; G – Union Silk; H – Data Copy;
 I – картон Malmero; J – Кондопогского ЦБК; K – Lumi Art

**Рисунок 1 – Распределение упруго-прочностных свойств для бумаги:
 а – модули Юнга; б – прочность**

$$d\sigma / d\varepsilon = E(x), \quad (13)$$

где σ – напряжение, ε – деформация.

Если количество слоев n , то решение (13) примет вид

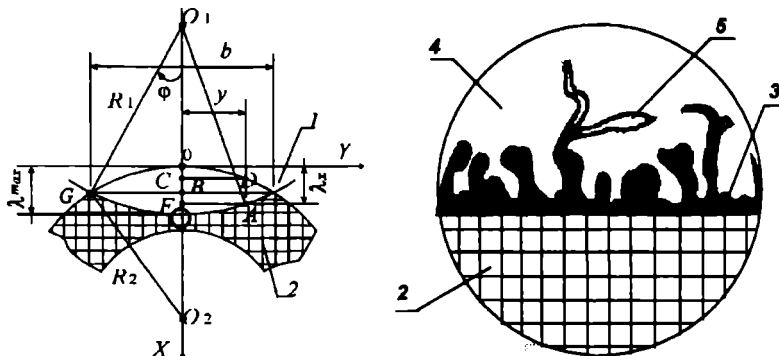
$$\sigma = \sigma_0 + \frac{1}{x_0} \int_{x_0}^x \left(\frac{1}{E_1(x)} + \frac{1}{E_2(x)} + \dots + \frac{1}{E_n(x)} \right)^{-1} dx. \quad (14)$$

Геометрия площадки печатного контакта показана на рисунке 2.

В соответствии с (13) формула для расчета напряжений в упругом покрытии с учетом реальной конфигурации площадки контакта будет иметь вид

$$d\sigma = - \frac{8\lambda_{\max} E_1(y)}{b^2 \delta_d} y dy, \quad (15)$$

где λ_{\max} – максимальная абсолютная величина сжатия, $E_1(y)$ – значение модуля Юнга в точке A, b – ширина площадки контакта, δ_d – толщина покрытия.



1 – жесткий красковоспринимающий цилиндр; 2 – краскоотдающий цилиндр с упругим покрытием; 3 – краска; 4 – лист бумаги; 5 – поры бумаги; R_1, R_2 – радиусы цилиндров

Рисунок 2 – Схема деформации упругого покрытия

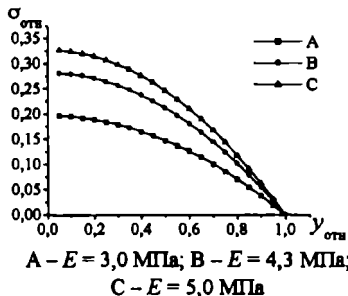


Рисунок 3 – Распределение напряжений по площадке контакта для однослойного покрытия

Распределение напряжений по площадке контакта

$$\sigma(y) = \sigma_0 + \frac{16\lambda_{\max}}{b^2\delta_d} \int_y^0 y E_1(y) dy. \quad (16)$$

Как видно из рисунка 3, распределение относительных напряжений по ширине площадки печатного контакта имеет нелинейный вид. Напряжения от максимума в середине полосы печатного контакта постепенно понижаются до нуля в момент, когда печатная пара выходит из контакта.

В третьей главе изучена взаимосвязь параметров структуры бумаги и давления печати, построена теория процесса фильтрации краски в поровом пространстве бумаги, установлено влияние неоднородности структуры порового пространства бумаги на проникновение краски при ее нанесении сплошным слоем в условиях упругого контакта и на глубину капиллярного впитывания при выходе бумаги из зоны контакта под воздействием температуры, построена теория фильтрации сплошного и дискретного фронта краски для однородной пористости и фрактального распределения пористости в бумаге.

Поровое пространство бумаги рассматривается как фрактальный кластер с топологической размерностью D_{Π} . Тогда закон распределения пор Π имеет вид

$$\Pi(x) = (x/r_b)^{D_{\Pi}-d} \quad (17)$$

С учетом (4) из (17) можно получить формулу

$$D_{\Pi}(x) = d + \frac{\ln(1 - (x/r_b)^{D-d})}{\ln(x/r_b)}. \quad (18)$$

Зависимость распределения (18) характеризует поровое пространство как мультифрактальный объект. Распределение фрактальной размерности порового пространства D_{Π} и пористости Π в приповерхностных слоях бумажного листа для различных видов бумаги приведены на рисунках 4, 5.

Интерес представляет анализ влияния на процесс переноса краски наряду с давлением других факторов: времени контакта, толщины слоя краски.

Масса краски, переходящая с краскоотдающей поверхности на бумагу, равна

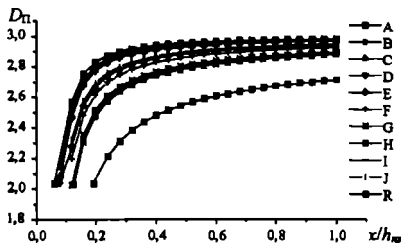
$$M_6 = W_0 S t_{\text{кон}} \rho_{\text{кр}}, \quad (19)$$

где M_6 – масса краски на бумаге, W_0 – скорость перехода краски на бумагу, S – площадь запечатываемой поверхности, $\rho_{\text{кр}}$ – плотность краски.

Формула для расчета скорости перехода краски на бумагу имеет вид

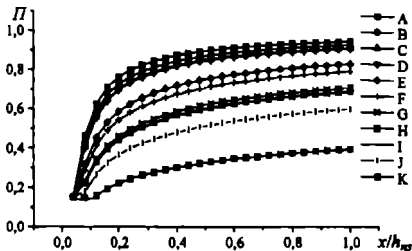
$$W_0 = \frac{M_6}{S t_{\text{кон}} \rho_{\text{кр}}} = \frac{K_{\text{пер}} S h_{\phi} \rho_{\text{кр}}}{S t_{\text{кон}} \rho_{\text{кр}}} = \frac{K_{\text{пер}} h_{\phi}}{t_{\text{кон}}}, \quad (20)$$

где M_6 – масса краски на краскоотдающей поверхности, h_{ϕ} – толщина слоя краски, $K_{\text{пер}}$ – коэффициент перехода краски, $t_{\text{кон}}$ – время печатного контакта.



А – бумага АО «Волга»; В – Балахнинского ЦБК; С – цветная Балахнинского ЦБК; D – офсетная; E – Lumi Silk; F – Union Art; G – Union Silk; H – Data Copy; I – картон Malmero; J – бумага Кондопогского ЦБК; K – Lumi Art

Рисунок 4 – Распределение D_{π}



А – бумага АО «Волга»; В – Балахнинского ЦБК; С – цветная Балахнинского ЦБК; D – офсетная; E – Lumi Silk; F – Union Art; G – Union Silk; H – Data Copy; I – картон Malmero; J – Кондопогского ЦБК; K – Lumi Art

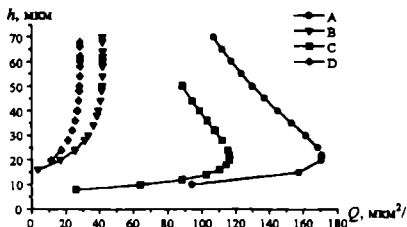
Рисунок 5 – Распределение Π

Перешедшая на бумагу краска под воздействием давления печати проникает в ее поровое пространство. Глубина проникновения h и расход краски Q связаны между собой зависимостью (21), следующей из (1) с учетом (2) и (10):

$$Q = -\frac{k_{\Pi}\Pi}{\eta_0} \left(\frac{h}{r_p} \right)^{1-\frac{H}{d}} \Psi^{\frac{v_p H}{d}} \left(\frac{dp}{dx} \right), \quad (21)$$

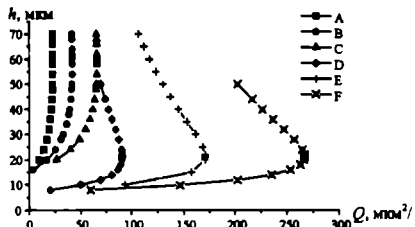
где Q – расход краски, проникшей в поры бумаги.

Зависимости глубины проникновения краски от расхода для офсетной бумаги представлены на рисунке 6. Рисунок 7 отражает влияние давления печати на просачивание краски. На начальной стадии по мере проникновения краски растет и ее расход. После заполнения порового пространства расход достигает максимума. По мере формирования перколяционных каналов расход уменьшается, а глубина увеличивается. Максимум расхода соответствует полному заполнению краской порового пространства и оптимальным условиям закрепления в нем.



$\eta = 14,4$ Па·с: А – бумага Data Copy; В – офсетная бумага; $\eta = 21,2$ Па·с: С – бумага Data Copy; D – офсетная бумага

Рисунок 6 – Влияние вязкости на глубину проникновения краски



$p_0 = 0,111$ МПа; $0,208$ МПа и $0,325$ МПа: А, В, С – офсетная бумага; D, E, F – бумага Data Copy

Рисунок 7 – Влияние давления печати на глубину проникновения краски

Исследование капиллярного впитывания краски производилось с учетом величины температурного воздействия, а также его длительности. Глубина проникновения краски h связана с длиной капилляров l_k и коэффициентом β равенством $h = l_k / \beta$. Капиллярное впитывание описывается уравнением Уолборна (12), ко-

эффицент извилистости – соотношением (10). Расчеты выполнялись для четырех видов бумаги: газетной, офсетной, мелованной глянцевой и матовой.

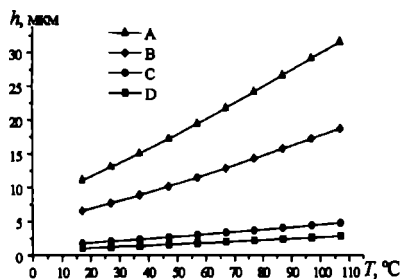
Результаты расчетов представлены в виде графиков зависимости глубины проникновения краски в поровое пространство бумаги от температуры (рисунок 8) и времени теплового воздействия (рисунок 9).

Важной стороной управления качеством печатной продукции является контроль изменения площади растровых точек на оттиске (растискивания). Печать с помощью раstra соответствует дискретному фронту фильтрации краски в поровом пространстве бумаги. Для анализа процесса фильтрации дискретного фронта краски предлагается принципиальная схема, приведенная на рисунке 10.

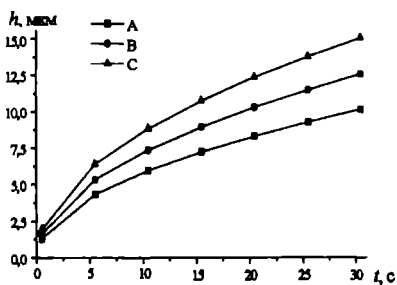
В соответствии с этой схемой, в самом общем случае, в процессе фильтрации краски можно выделить три фазы, показанные на рисунках 10а–г. Однако наличие тех или иных конкретных фаз в общем процессе фильтрации существенным образом зависит от соотношения начальной толщины слоя краски на растровой точке h_0 и ее толщины на оттиске h_T .

Ситуация, когда $h_0 \leq h_T$, не имеет смысла с точки зрения обеспечения качества печати, поскольку не будет обеспечена требуемая толщина слоя краски на оттисках. Первая фаза фильтрации краски (рисунок 10а) начинается при условии $h_0 > h_T$. Тогда в случае попадания растровой точки в зону печатного контакта и воздействия давления печати краска растекается в щелевом зазоре между упругим покрытием и поверхностью бумаги. Однако объема краски еще недостаточно для ее впитывания в бумагу.

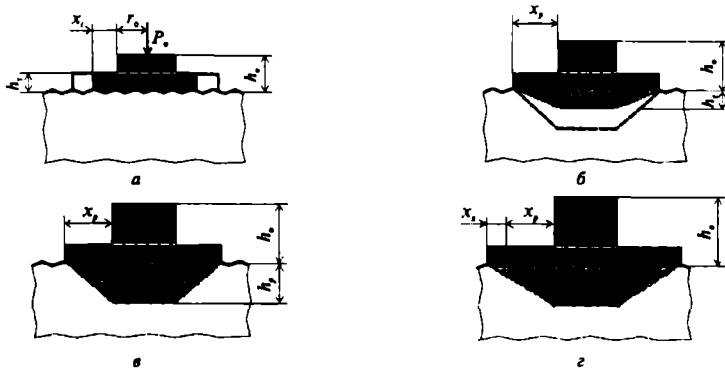
Вторая фаза фильтрации (рисунок 10б) начинается тогда, когда в исходном состоянии на растровую точку будет подано количество краски большее, чем то количество, которое может распределиться по поверхности бумаги за время печатного контакта $t_{\text{дон}}$. Предельное состояние второй фазы показано на рисунке 10в. В первую очередь в бумагу начнет поступать краска, находящаяся непосредственно под растровой точкой. Эта краска за время печатного контакта пройдет наибольший диффузионный путь. В конечном итоге проникшая в поры бумаги краска займет объем, близкий по форме к усеченному конусу.



A – листовая печать на газетной бумаге;
 B – рулонная печать на газетной бумаге;
 C – листовая печать на офсетной бумаге;
 D – рулонная печать на офсетной бумаге
Рисунок 8 – Зависимость глубины проникновения краски от температуры



A – температура в сушильной камере 60 °C; B – 80 °C; C – 100 °C
Рисунок 9 – Зависимость глубины проникновения краски от времени нахождения оттисков в сушильной камере для офсетной бумаги



а – первая фаза фильтрации краски; б – вторая фаза;
в – предельное состояние второй фазы; г – третья фаза

Рисунок 10 – Принципиальная схема процесса фильтрации дискретного фронта краски для случая круглых растровых точек

Если дальше увеличивать подачу краски в исходном состоянии, то начнется третья фаза (рисунок 10г). Поскольку объем краски, который может поступить в бумагу за время печатного контакта, ограничен, то «излишек» краски будет затекать за края растровой точки. Некоторая часть краски может проникнуть в бумагу.

Уравнение баланса краски на первой фазе процесса фильтрации

$$\pi(r_0 + x_1)^2 h_r = V_0, \quad (22)$$

где x_1 – ширина ореола – приращения радиуса точки, V_0 – первоначальный объем краски на растровой точке.

Приращение площади точки будет равно

$$\Delta S = \frac{S_{\pi} - S_{\pi 0}}{S_{\pi 0}} = \frac{\pi(r_0 + x_1)^2}{\pi r_0^2} - 1 = \left(\frac{x_1}{r_0} + 1\right)^2 - 1. \quad (23)$$

Для продавливания высоковязких жидкостей через узкие щели необходимо приложить значительное давление P_0 . Суммарное давление на выходе, как правило, мало по сравнению с P_0 , поэтому полагаем, что в (1) $|dp/dx| \approx P_0 / x$. Дифференциальное уравнение Дарси (1), описывающее закон движения фронта краски в щелевом зазоре между упругим покрытием и поверхностью бумаги:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{K_{\Pi} P_0}{\eta x}. \quad (24)$$

Исходя из (24), фронт краски пройдет путь, равный

$$x_p = \sqrt{\frac{2K_{\Pi} P_0}{\eta} t_{\text{кон}}} \quad (25)$$

В начале второй фазы процесса печатная краска начнет проникать в толщу бумажного листа. Баланс краски при этом будет иметь вид

$$V_b + V_s = V_0, \quad (26)$$

где V_b – объем краски, проникшей в бумагу, V_s – объем краски на поверхности.

Объем краски, оставшейся на поверхности бумаги во время второй фазы:

$$V_s = \pi(r_0 + x_p)^2 h_T. \quad (27)$$

Количество краски, проникшей в бумагу:

$$V_b = \frac{\Pi}{3} \pi h_z \left[r_0^2 + r_0(r_0 + x_p) + (r_0 + x_p)^2 \right]. \quad (28)$$

Подставив (27) в уравнение баланса (26), можем определить глубину проникновения краски в бумагу. При дальнейшем увеличении подачи краски начнется третья фаза процесса. Уравнение баланса краски будет иметь вид

$$V_z + V_b + V_s = V_0, \quad (29)$$

где V_z – объем краски, которая затекает за края поверхности растровой точки.

Приращение площади точки определяется по формуле, аналогичной (23).

Для учета неоднородности структуры порового пространства бумаги в разработанной теории уточнение касается показателей, которые зависят от пористости. Коэффициент проницаемости бумаги K_{Π} пропорционален ее пористости. При описании первой фазы процесса пористость поверхности бумаги должна определяться по формуле (17) с учетом подстановки (18):

$$\Pi_s = (z_s / r_n) \frac{\ln(1 - (z_s / r_n)^{D_s - d})}{\ln(z_s / r_n)} \quad (30)$$

где z_s – половина толщины бумажного листа.

Коэффициент β для поверхности бумажного листа будет определяться как

$$\beta_s = (z_s / r_n)^{\frac{H}{d} - 1} \left(\frac{\Pi_s - \Pi_c}{1 - \Pi_c} \right)^{\frac{-v_x H}{d}} \quad (31)$$

где H – топологическая размерность гиперкластера, образованного диффундирующей краской, Π_c – критическая пористость, при которой начинается протекание краски, v_x – критический индекс радиуса корреляции кластера пор.

При описании второй фазы фильтрации краски ситуация существенно усложняется. В соответствии с (28) количество краски, проникшей в бумагу, пропорционально глубине проникновения фронта краски h_z . Однако h_z неявно входит в это выражение и через пористость. Поэтому фактически для определения h_z из уравнения баланса (26) получается трансцендентное уравнение

$$\frac{\pi h_z}{3} (h_z / r_n) \frac{\ln(1 - (h_z / r_n)^{D_s - d})}{\ln(h_z / r_n)} \left[r_0^2 + r_0(r_0 + x_p) + (r_0 + x_p)^2 \right] = V_0 - V_s. \quad (32)$$

Решение уравнения (32) возможно только численными методами.

Предельное значение глубины проникновения фронта краски h_p за время печатного контакта должно определяться из решения дифференциального уравнения, составленного на основе рассуждений, аналогичных использовавшимся при составлении уравнения (24). Дифференциальное уравнение для закона изменения глубины проникновения фронта краски:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{K_{\Pi} P_0}{\eta} \frac{\Pi(h)}{h \beta(h)}. \quad (33)$$

Уравнение (33) содержит закон распределения пор по толщине листа, аналогичный (30), и закон распределения коэффициента извилистости капилляров, аналогичный (31). Проинтегрировав (33), получим выражение для определения предельного значения глубины проникновения краски h_p за время контакта.

В таблице приведены значения степени влияния параметров технологического процесса при регулировании приращения площади растровых точек с учетом неоднородности порового пространства бумаги.

Таблица – Степень влияния параметров технологического процесса при регулировании приращения площади растровых точек

Наименование параметра	Мелованная	Офсетная	Газетная
Линиатура раstra L , lpa	1,052	1,015	0,994
Давление печати P_p , МПа	0,674	0,649	0,641
Скорость печати v , отг./ч	0,583	0,559	0,554
Вязкость краски η , Па·с	0,578	0,559	0,566

В четвертой главе разработаны практические рекомендации по повышению эффективности технологии печати на базе совершенствования автоматизированного управления технологическим процессом.

Предлагается включить в принципиальную схему контроля и управления качеством печати функцию динамического контроля и регулирования давления. Реализация предложенной схемы сделает офсетную печать более гибкой и управляемой. Интеллектуальный интерфейс, осуществляющий предварительную настройку давления печати на основе данных о состоянии печатных материалов и анализа степени приращения площади растровых точек до начала печати, позволяет снизить расход бумаги и краски, обусловленный приладочными операциями.

Непрерывный контроль давления печати и регулирование его в динамическом режиме с целью обеспечения нормативных значений растискивания растровых точек позволяют избежать возникновения дефектов во время печати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные научные результаты диссертации

1.1. Сложившиеся в настоящее время подходы к проблеме исследования взаимодействия печатной краски и запечатываемых материалов отличаются фрагментарностью в описании, базируются в основном на упрощенных однородных моделях структуры поверхностей печатного контакта, не учитывают многообразие этих структур и их особенности. Методологическая особенность развитого в диссертационной работе подхода заключается в том, что на основе статистического описания неоднородных случайных структур методами фрактальной геометрии построена теория, учитывающая нелинейные взаимосвязи параметров структуры и физико-механических свойств запечатываемых материалов и печатной краски. Она целиком базируется на учете флуктуаций плотности, обусловленных фрактальным характером неоднородности структуры, и подчеркивает определяющую роль этих флуктуаций в технологических процессах, связанных с фильтрацией печатной краски в бумаге, картоне и других запечатываемых материалах [1–А, 11–А, 15–А].

1.2. Развита самосогласованная теория, учитывающая особенности физико-механических свойств фрактальных структур и позволяющая рассчитывать в пол-

ном диапазоне распределение по толщине упругих и прочностных характеристик в основных полиграфических материалах. Установлено, что при переходе от объема к поверхности модули упругости изменяются у газетной бумаги на 89–94%, офсетной – 72–90%, мелованной матовой – 80–90%, мелованной глянцевой – 78–88%, прочностные характеристики при этом изменяются соответственно у газетной бумаги на 96–99%, офсетной – 51–95%, мелованной матовой – 69–87%, мелованной глянцевой – 23–81% [1–А, 2–А, 5–А, 6–А, 12–А, 17–А, 20–А].

1.3. Установлен мультифрактальный характер порового пространства бумаги. Разработана методика расчета распределения фрактальных размерностей и пористости по толщине бумажного листа. В результате расчетов показано, что при переходе от объема к поверхности фрактальная размерность возрастает у газетной бумаги в 1,3 раза, офсетной – в 1,8 раз, мелованной – в 3,4 раза, пористость при этом увеличивается для газетной бумаги в 7,6 раза, офсетной – в 6,2 раза, мелованной – в 5,6 раза [1–А, 13–А, 16–А].

1.4. Определены зависимости распределения давления в зоне печатного контакта, учитывающие как геометрию печатного контакта, так и фрактальную неоднородность структуры печатающих поверхностей. Показано, что при использовании однослойных упругих покрытий краскоотдающей поверхности величина давления печатания возрастает на 10–19% в случае применения резиноканевого полотна с разным количеством слоев либо содержанием активного наполнителя. При использовании многослойных упругих покрытий значения варьируются в зависимости от состава, для двухслойных покрытий давление уменьшается по отношению к соответствующим однослойным на 12–63%, для трехслойных покрытий – на 16–66% [2–А, 7–А, 8–А, 18–А].

1.5. Построена теоретическая модель для оценки влияния неоднородности порового пространства бумаги на проникновение печатной краски до момента ее закрепления на оттиске. Глубина проникновения и расход краски определены в момент воздействия давления печати и при выходе бумажного листа из зоны печатного контакта в условиях капиллярного впитывания.

Исследование влияния на расход и глубину проникновения краски таких факторов, как вязкость краски и давление печатного контакта, показало следующее. При увеличении вязкости печатной краски на 47% расход краски для различных видов бумаги уменьшается. Для мелованной бумаги расход уменьшается на 32% (как для бумаги Lumi Art, так и для бумаги Lumi Silk). Уменьшение расхода краски при использовании офсетной бумаги Data Copy составляет 30%, а для бумаги офсетной № 1 – 32%. Для двух рассматриваемых марок газетной бумаги Балахнинского ЦБК расход краски изменяется на 32%. При использовании двухслойных упругих покрытий снижение давления в середине печатного контакта составляет 32%, что уменьшает расход на 36% для всех видов печатной бумаги. Уменьшение давления на 53% при использовании трехслойных покрытий влечет снижение расхода на 59% [2–А, 9–А, 10–А, 14–А].

Исследование глубины проникновения при капиллярном впитывании краски производилось с учетом величины температурного воздействия, а также длительности нахождения оттиска в сушильной камере печатной машины. При температуре в сушильной камере 100 °С глубина проникновения краски по отношению к ее значениям в условиях комнатной температуры (23 °С) при печати на газетной бумаге увеличится в 2,3 раза, на офсетной бумаге – в 2,2, мелованной

бумаге – 2,3 раза. Глубина проникновения краски в толщу листа газетной бумаги с увеличением времени прохождения оттисков в сушильном устройстве от 1 до 3 с возрастает в среднем в 2,6 раза. Глубина проникновения в офсетную и мелованную бумагу при изменении времени от 1 до 30 с увеличивается в 7,8 раз [4–А].

1.6. Построена структурная теория проникновения дискретного фронта краски для условий однородной структуры порового пространства бумаги и с учетом его фрактальной неоднородности. Проанализирована эффективность использования параметров технологического процесса печати при регулировании этого процесса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее эффективно на уменьшение приращения площади растровых точек (растискивания) влияет лигатура раstra. Эффективность влияния давления печати по отношению к лигатуре меньше для исследованных видов газетной, офсетной и мелованной бумаги в 1,6 раза. Влияние изменения скорости печати и вязкости краски практически одинаково: по отношению к лигатуре оно меньше для газетной бумаги в 1,7 раза, офсетной и мелованной – в 1,8 раза [2–А, 3–А].

1.7. Построена новая принципиальная схема системы контроля и управления качеством печати на офсетных печатных машинах и принципиальная схема системы управления и автоматизации печатным процессом, позволяющие на основе установленных закономерностей обеспечить требуемый уровень качества полиграфической продукции. Реализация модели в системах управления обеспечивает предварительную настройку давления печати на основе данных о технологических характеристиках расходных материалов до начала процесса печатания и позволяет снизить расход основных материалов, уменьшить время на приладку, а также снизить трудоемкость приладочных операций [10–А, 18–А, 19–А].

2. Рекомендации по практическому использованию результатов

2.1. Предотвращение разрушения поверхностных слоев бумаги. Анализ причин возникновения данного дефекта позволил предложить практические рекомендации по его устранению. Офсетную бумагу № 1 целесообразно использовать только для листовой печати. Прочностные характеристики данного вида бумаги позволяют производить качественную продукцию при скорости печатания, не превышающей 1,8 м/с. Кроме того, необходимо использовать печатную краску с вязкостью не более 21,2 Па·с, а для обеспечения требуемого давления в зоне печатного контакта – мягкое либо полужесткое покрытие краскоотдающей поверхности (декель).

Мелованную бумагу Lumi Art, Lumi Silk, Union Art, Union Silk можно применять как для листовой, так и для рулонной офсетной печати. Предельная скорость печати при вязкости краски, не превышающей 21,2 Па·с, и давлении печати, обеспечиваемом полужестким либо жестким покрытием, может изменяться в пределах от 5 до 50 м/с для различных марок мелованной бумаги.

Печать на газетной бумаге возможна на рулонных офсетных машинах с использованием только мягкого покрытия, вязкость краски должна быть снижена до 9,4 и 10,4 Па·с, а рекомендуемая скорость печати не должна превышать 3,5 и 5,2 м/с для белой и цветной бумаги Балахнинского ЦБК соответственно [10–А, 18–А].

2.2. Технологические условия обеспечения необходимой глубины проникновения краски для ее прочного и стойкого к различным воздействиям закрепления в структуре бумаги. Установлено, что технологически оправданная

глубина проникновения краски в условиях упругого контакта должна составлять: для мелованной бумаги – 15–24 мкм; для офсетной и газетной бумаги – 25–40 мкм. Линейный расход, обеспечивающий достаточную глубину проникновения краски в бумагу, должен быть равен 105–230 мкм/с для мелованной бумаги и 93–171 мкм/с – для офсетной и газетной бумаги [2–А, 9–А, 14–А].

Максимально допустимая глубина проникновения краски не должна превышать 30–67 мкм для мелованной, 35–45 мкм – офсетной и 40–68 мкм – газетной бумаги различных марок. Глубина капиллярного впитывания краски, обеспечивающая требования к качеству оттисков, должна составлять: для мелованной бумаги – 15–43 мкм; для офсетной – 5–10 мкм и для газетной бумаги – 15–28 мкм. Для выполнения данного условия допустимое время нахождения оттисков под тепловым воздействием может составлять 3 с для газетной бумаги и 30 с для офсетной и мелованной бумаги [4–А].

2.3. Нормализация площади растровых точек (механического растискивания) в условиях проникновения в бумагу дискретного фронта краски. Разработаны конкретные рекомендации по управлению печатным процессом с целью удержания ореола растискивания в пределах нормативных значений.

Для офсетной, мелованной и газетной видов бумаги увеличение вязкости печатной краски на 47% снижает приращение площади точек при печати в среднем на 17,9, 18,5 и 18,1% соответственно. Для офсетной бумаги при увеличении линиатуры на 48% площадь точек возрастает в среднем на 32,8%, при увеличении линиатуры на 33% для мелованной бумаги она возрастает на 26,3%, а для газетной бумаги увеличение линиатуры на 54% приводит к возрастанию площади точек в среднем на 34,8%. Увеличение скорости печати на 80% уменьшает прирост площади точек в среднем на 24,8% для офсетной бумаги, на 25,9% – для мелованной бумаги и на 24,6% – для газетной бумаги [2–А, 3–А].

2.4. Перспективы дальнейшего развития научного направления. Методология фрактальной параметризации дает возможность количественно описать структуру полиграфических материалов на поверхности и в объеме и благодаря этому открывает принципиально новые возможности для описания взаимосвязи их свойств и структуры. Она предоставляет принципиально новую возможность объединения результатов исследований фрактальности (мультифрактальности) структур полиграфических материалов. Это, в свою очередь, создает условия для построения комплексной теории печатных процессов, позволяющей осуществить более тонкий анализ эффективности использования различных сочетаний материалов и режимов печатного процесса, наметить пути дальнейшего совершенствования качества печатной продукции.

Кроме того, методология теории фракталов, с одной стороны, позволяет преобразовать в цифровую форму и использовать информацию о структуре материалов, получаемую современными датчиками и сенсорами в процессе контроля качества продукции, которая в настоящее время просто не используется. С другой стороны, за счет использования количественных характеристик предоставляется возможность внедрения в системы контроля более эффективных подсистем обратной связи с технологическим оборудованием, учета динамических свойств материалов, что также актуально для дальнейшего совершенствования процесса печати.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Главы в монографиях

1–А. Боброва, О.П. Методы теории фракталов в механике полиграфических материалов и технологии печатных процессов / М.И. Кулак, О.П. Боброва, И.Г. Пиотух, Д.М. Медяк, Т.В. Анкуд // Фрактальная механика материалов: научное издание / М.И. Кулак – Минск, 2002. – Гл. 7. – С. 238–288.

2–А. Старченко, О.П. Фрактальный подход в исследовании влияния давления на процесс печатания. Исследование на основе методов теории фракталов процесса впитывания типографской краски до момента ее закрепления на оттиске / М.И. Кулак, С.А. Ничипорович, Д.М. Медяк, О.П. Старченко // Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: научное издание / М.И. Кулак – Минск, 2007. – Гл. 7, 8. – С. 168–312.

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов

3–А. Старченко, О.П. Закономерности влияния давления печатного контакта на изменение размера растровых точек / О.П. Старченко, М.И. Кулак, Д.М. Медяк // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2007. – № 1. С. 61–67.

4–А. Старченко, О.П. Влияние температуры и неоднородности структуры порового пространства бумаги на капиллярное впитывание печатной краски / О.П. Старченко, М.И. Кулак, Д.М. Медяк // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2010. – № 2. – С. 40–47.

5–А. Старченко, О.П. Расчет упругих свойств декеля с учетом фрактальной неоднородности поверхностей печатного контакта / О.П. Старченко, М.И. Кулак // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2002. – № 10. – С. 55–60.

6–А. Старченко, О.П. Расчет упруго-прочностных свойств декельных композиций / О.П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2003. – № 11. – С. 59–64.

7–А. Старченко, О.П. Влияние неоднородности структуры поверхностей печатного контакта на распределение давления и расход краски / О.П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2004. – № 12. – С. 51–54.

8–А. Старченко, О.П. Фрактальная модель распределения давления в зоне печатного контакта / О.П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2005. – № 13. – С. 68–72.

9–А. Старченко, О.П. Влияние структуры порового пространства бумаги на перколяцию печатной краски / О.П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2006. – № 14. – С. 59–63.

10–А. Старченко, О.П. Теоретическое исследование выщипывания различных видов печатной бумаги / Д.М. Медяк, Г.Г. Демьянова, О.П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 9, Издательское дело и полиграфия. – 2007. – № 15. – С. 25–28.

11–А. Старченко, О.П. Фрактальные структуры поверхности офсетного полотна / О.П. Старченко, Д.М. Медяк // Вестн. ИПК Беларуси. – 2003. – № 1. – С. 97–102.

12–А. Боброва, О.П. Влияние фрактальных особенностей структуры на физико-механические свойства печатной бумаги / О.П. Боброва, М.И. Кулак, И.Г. Пиотух // Тр. БГТУ: сб. науч. тр. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2000. – Вып. 8: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 73–81.

13–А. Боброва, О.П. Взаимосвязь параметров структуры бумаги и давления печатного контакта / О.П. Боброва, М.И. Кулак, И.Г. Пиотух // Тр. БГТУ: сб. науч. тр. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2000. – Вып. 8: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 82–92.

14–А. Старченко, О.П. Перколяция типографской краски в пористой структуре бумаги / О.П. Старченко, М.И. Кулак // Сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2005. – Вып. 19: Теоретическая и прикладная механика. – С. 192–197.

15–А. Боброва, О.П. Что мы знаем о бумаге: фрактальная парадигма / О.П. Боброва, М.И. Кулак, И.Г. Пиотух // Технология переработки и упаковки. – 2000. – № 3(5). – С. 26–27.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

16–А. Боброва, О.П. Фракталы в исследованиях взаимодействия бумаги и краски в процессе печатания / О.П. Боброва, М.И. Кулак, И.Г. Пиотух // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–26 окт. 2000 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2000. – С. 249–251.

17–А. Старченко, О.П. Фрактальный подход в исследовании упругих свойств бумаги и декеля / О.П. Старченко, М.И. Кулак // Актуальные проблемы прочности: материалы XLIII междунар. конф., Витебск, 27 сент.–1 окт. 2004 г. / Витебск. гос. технол. ун-т; редкол.: В.И. Бетехтин [и др.]. – Витебск, 2004. – Ч. 2. – С. 303–311.

18–А. Старченко, О.П. Фрактальный подход в системах контроля качества печатной продукции / О.П. Старченко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2005 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – С. 136–138.

19–А. Старченко, О.П. Автоматизированное управление процессом печати на основе динамического контроля давления / О.П. Старченко // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 окт. 2009 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 145–147.

Тезисы докладов

20–А. Боброва, О.П. Топологические аспекты структурной механики целлюлозосодержащих материалов / О.П. Боброва, М.И. Кулак, И.Г. Пиотух // Математические проблемы механики: тез. докл. VIII Белорус. междунар. мат. конф., Минск, 19–24 июня 2000 г. / Ин-т математики НАН Беларуси; редкол.: И.В. Гайшун [и др.]. – Минск, 2000. – Ч. 3. – С. 120.

РЭЗІЮМЕ

Старчанка Вольга Паўлаўна

УПЛЫЎ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕАДНАРОДНАСЦІ СТРУКТУРЫ ДРУКАРСКІХ ПАВЕРХНЯЎ НА ПРАЊКНЕННЕ ФАРБЫ Ў ПОРАВУЮ ПРАСТОРУ ПАПЕРЫ

Ключавыя словы: фільтрацыя фарбы, неаднародная поравая прастора паперы, рэалагічныя ўласцівасці фарбы, капілярнае пранікненне, глыбіня пранікнення фарбы, мікраструктура паверхні, тэорыя фракталаў

Мэта работы. Устанавіць заканамернасці пранікнення сучэльнага і дыскрэтнага фронту вязкай друкарскай фарбы ў неаднародную поравую прастору паперы пры наяўнасці фрактальнай неаднароднасці структуры паверхняў друкарскага кантакту пад уздзеяннем ціску і тэмпературы. Распрацаваць структурную мадэль працэсу пранікнення фарбы ва ўмовах пруткага кантакту і з улікам тэмпературнага ўздзеяння.

Метады даследавання і апаратура. Для апрацоўкі першасных эксперыментальных дадзеных выкарыстоўваліся метады статыстычнага, карэляцыйнага і рэгрэсіўнага аналізу. Для рашэння пастаўленых задач ужыты метады тэорыі фракталаў і перкаляцыі, усе разлікі выконваліся на ЭВМ па стандартным і арыгінальным спецыяльна распрацаваным праграмам.

Атрыманыя вынікі і навізна. Прапанаваны новы падыход да вывучэння працэсу пранікнення фарбы ў паперу да замацавання на водбітку, які адрозніваецца магчымасцю падліку нелінейных узаемасувязей параметраў структуры і пранікальнасці паперы як стахастычнага валакністага асяроддзя. Распрацавана метадыка вызначэння прутка-трываласных уласцівасцей паперы і разліку фрактальнай неаднароднасці пруткіх уласцівасцей фарбааддаючай паверхні, распарадкавання ціску друкарскага кантакту. Пабудавана метадыка разліку залежнасці колькасці і глыбіні пранікнення ў поравую прастору паперы фарбы ад ціску і тэмпературы ва ўмовах капілярнага пранікнення. Пабудавана структурная тэорыя пранікнення сучэльнага і дыскрэтнага фронту фарбы, якая адрозніваецца магчымасцю прагназіраваць заканамернасці працякання працэсу друкавання і дазваляе стабілізаваць якасць друкарскай прадукцыі.

Рэкамендацыі па выкарыстанню. Рэалізацыя асноўных становішчаў дысертацыйнай працы дазволіць прадукцiльнiць узнікненне дэфектаў у працэсе друкавання, вызначыць ўмовы замацавання друкарскай фарбы ў структуры паперы, а таксама нармалізаваць ступень прырапчэння плошчы растравых кропак пры дапамозе удасканалвання працэсу кіравання і кантролю за афсетным друкам у дынамічным рэжыме.

Вобласць ужывання. Вынікі працы могуць быць выкарыстаны для даследавання працэсаў масапераносу ў порыстых структурна-неаднародных сістэмах. Іх выкарыстанне магчыма з мэтай развіцця тэхнікі і тэхналогіі паліграфічнай вытворчасці.

РЕЗЮМЕ

Старченко Ольга Павловна

ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ ПЕЧАТАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ КРАСКИ В ПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО БУМАГИ

Ключевые слова: фильтрация краски, неоднородное поровое пространство бумаги, реологические свойства краски, капиллярное впитывание, глубина проникновения краски, микроструктура поверхности, теория фракталов.

Цель работы. Установить закономерности проникновения сплошного и дискретного фронта вязкой печатной краски в неоднородное поровое пространство бумаги при наличии фрактальной неоднородности структуры поверхностей печатного контакта под воздействием давления и температуры. Разработать структурную модель процесса впитывания краски в условиях упругого контакта и с учетом температурного воздействия.

Методы исследования и аппаратура. Для обработки первичных экспериментальных данных использовались методы статистического, корреляционного и регрессионного анализов. Для решения поставленных задач применены методы теории фракталов и перколяции, все расчеты выполнялись на ЭВМ по стандартным и оригинальным специально разработанным программам.

Полученные результаты и новизна. Предложен новый подход к изучению процесса проникновения краски в бумагу до закрепления на оттиске, отличающийся возможностью учета нелинейных взаимосвязей параметров структуры и проницаемости бумаги как стохастической волокнистой среды. Разработана методика определения упруго-прочностных свойств бумаги и расчета фрактальной неоднородности упругих свойств краскоотдающей поверхности, распределения давления печатного контакта. Разработана методика расчета зависимости количества и глубины проникновения в поровое пространство бумаги краски от давления и температуры в условиях капиллярного впитывания. Построена структурная теория проникновения сплошного и дискретного фронта краски, отличающаяся возможностью прогнозировать закономерности протекания процесса печатания и позволяющая стабилизировать качество печатной продукции.

Рекомендации по использованию. Реализация основных положений диссертационной работы позволит предотвратить возникновение дефектов в процессе печатания, определить условия закрепления печатной краски в структуре бумаги, а также нормализовать степень приращения площади растровых точек за счет совершенствования процесса управления и контроля за офсетной печатью в динамическом режиме.

Область применения. Результаты работы могут быть использованы для исследования процессов массопереноса в пористых структурно-неоднородных системах. Их применение возможно для целей развития техники и технологии полиграфического производства.

SUMMARY

Starchenko Olga Pavlovna

INFLUENCE OF FRACTAL HETEROGENEITY OF STRUCTURE OF PRINTING SURFACES ON INK PENETRATION IN THE PORE SPACE OF PAPER

Key words: ink filtration, heterogeneous pore space of paper, rheological properties of ink, capillary absorption, penetration depth of ink, microstructure of surface, theory of fractals.

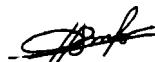
The purpose of work. To establish the principles of penetration of solid and discrete front of viscous printing ink in the heterogeneous pore space of paper in the presence of fractal heterogeneity of printed contact surfaces structure under the influence of pressure and temperature. To develop the structural model of ink penetration process under conditions of elastic contact and with a glance of thermal effect.

Methods of research and equipment. There were used methods of statistics, correlation and regression analyses for the processing of primary experimental data. For the solution of assigned tasks the methods of fractal and percolation are applied. All calculations were carried out on the computer according to the standard and original programs developed for this purpose.

Received results and novelty. The new approach to the studying process of ink penetration in the paper before fastening on the print, distinguished by an opportunity of the account of non linear interrelations between the parameters of structure and the permeability of paper as stochastic fibrous system is offered. The method of definition of elastic-strength properties of paper and the calculation of fractal heterogeneity of elastic properties of ink-return surfaces is developed. The method of calculation of the pressure and temperature dependence of amount and depth of ink penetration in the pore space of paper under conditions of capillary absorption is worked out. The structural theory of penetration of solid and discrete front of printing ink is constructed, distinguished by an opportunity to predict regularities of process of printing and allowing to stabilize the quality of printed matter.

Recommendations for use. Realization of main provisions of dissertation will allow to prevent defects during the printing, to define conditions of printing ink fastening in the structure of paper, and also to normalize a degree of dot area increase due to the perfection of managerial process and the control over the offset printing in the dynamic mode.

Area of application. The results of this work can be used for research of mass transfer processes in the porous structural-heterogeneous systems. The results application is possible for the purpose of development of technology and technique of printing production.



Научное издание

СТАРЧЕНКО ОЛЬГА ПАВЛОВНА

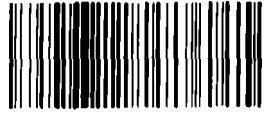
**ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ
ПЕЧАТАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ КРАСКИ
В ПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО БУМАГИ**

01.04.14 — Теплофизика и теоретическая теплотехника

Подписано в печать 19.05.2010.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,89.
Тираж 100 экз. Заказ 33.

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси.
220072, Минск, П. Бровки, 15. ЛИ № 02330/0549415 от 08.04.2009.

Отпечатано на ризографе Института тепло- и массообмена
имени А.В. Лыкова НАН Беларуси. 220072, Минск, П. Бровки, 15.



8000000430.750.4