

## ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОФСЕТНОГО ПОЛОТНА

Д. М. Медяк, аспирантка БГТУ;  
О. П. Старченко, аспирантка БГТУ

Офсетная печать, несмотря на широкое распространение, относится к наиболее сложным способам печати. Ее основная особенность заключается в том, что изображение с печатной формы сначала передается на промежуточную поверхность — офсетное полотно, а затем на бумагу или другой запечатываемый материал.

Использование в качестве печатающей поверхности легко деформируемого офсетного полотна существенно изменило механику печатного контакта, что, в свою очередь, позволило значительно расширить круг печатных материалов, включив в него как традиционные — бумагу, картон в расширенном ассортименте, так и невпитывающие материалы — металлы, пластмассы [1].

Научные основы теории печатных процессов были заложены в работах П. А. Ребиндера, М. П. Воларовича, Л. А. Козаровицкого, К. В. Тира, П. А. Попрядухина [1–3]. Однако необходимо отметить, что, несмотря на широко проведенные экспериментальные исследования структурно-механических свойств печатных материалов и красок, в указанных работах была построена в основном феноменологическая теория печатных процессов. Как признается во многих работах [1–2], зачастую «тонкие особенности» поведения материалов при печатании, обусловленные главным образом стохастической структурой этих материалов, не могли быть описаны в рамках применявшихся в те времена методов. Основная причина такого положения заключалась в отсутствии теоретической базы и методов описания неоднородных стохастических структур.

С появлением и развитием теории фракталов [4] возможности создания структурной статистической теории печатных процессов приобрели реальные очертания. Вместе с тем задача построения такой теории представляет собой серьезный научный проект. Часть программы в определенной мере уже выполнена [5, 6]. В работе [5] методами теории фракталов описаны структурно-механические свойства различных видов печатных бумаг. Процесс проникновения печатной краски в поверхностные слои бумаги рассмотрен в работе [6].

Офсетное полотно (резинотканевая пластина) используется в офсетной печати для переноса изображения с печатной формы на бумагу и для

создания технологически необходимого давления между офсетным и печатным цилиндрами.

По конструкции офсетное полотно представляет собой двух-четырёхслойную прорезиненную ткань с односторонним резиновым слоем. Рабочим является верхний резиновый слой. Его толщина для офсетного полотна всех типов составляет не менее 0,5 мм. Резина является высокополимерным материалом, имеющим пространственное молекулярное строение со сложным переплетением цепных макромолекул, связанных прочными поперечными связями. Резины, применяемые для офсетных полотен, должны иметь высокую адгезию к текстильным материалам и высокое сопротивление к старению [7].

В процессе печатания резинотканевая пластина непрерывно подвергается механическим и химическим воздействиям, что приводит к постепенному изменению ее свойств, называемому усталостью резины. Деформационные воздействия на резину сначала приводят к обратимым, а после длительного воздействия — необратимым изменениям, заканчивающимся разрушением материала.

Офсетные полотна, как основная составляющая декеля, должны отвечать ряду технологических требований, которые в первую очередь определяются упругими свойствами пластины, характеризующими ее поведение как упругого материала, сжимаемого под давлением при печатании. Поверхность офсетного полотна должна хорошо воспринимать с формы и передавать на запечатываемый материал печатную краску и вместе с тем быть устойчивой к действию связующего красок и растворителей, минимально набухать и не растворяться в них. Процент перехода краски с формы на бумагу определяется физико-химической природой и микрогеометрией поверхности офсетного полотна [8].

Целью данной работы является исследование микропрофилей поверхности офсетного полотна, определение его фрактальных свойств, анализ изменения фрактальной размерности в результате приработки офсетного полотна, а также анизотропии структуры его поверхности.

Использование нового для полиграфической технологии математического аппарата — теории фракталов [4] потребовало разработки специальной методики экспериментального изучения по-

верхностных свойств полиграфических материалов. Необходимость выполнения таких измерений обусловлена тем, что разрабатываемое математическое описание технологических процессов полиграфического производства не является замкнутым. Для выполнения расчетов нужно иметь параметры, характеризующие среду, а именно тот или иной полиграфический материал.

В работах прикладного характера параметры среды определяются, как правило, в результате прямых измерений объекта исследования. В качестве такой измерительной процедуры в данной работе предложено экспериментальное измерение поверхностных свойств офсетных полотен, а именно измерение микропрофилей их образцов. Снятые с микропрофилей данные после специальной математической обработки послужат основой для определения в дальнейшем параметров среды.

Для конкретной реализации данной программы была разработана методика экспериментального определения фрактальных свойств структуры образцов исследуемых полиграфических материалов, которая включает в себя следующие процедуры: определение системы параметров настройки профилометра при построении профилограмм для различных образцов; технологию подготовки профилограмм для последующей математической обработки; специальную процедуру оцифровывания профилограмм; программное обеспечение для анализа на ЭВМ фрактальных свойств структуры образцов полиграфических материалов.

Перейдем к фрактальному описанию микроструктуры офсетного полотна. Наиболее важными его характеристиками являются: микрогеометрия поверхности; механические свойства (жесткость и прочность); способность впитывать краску; химические свойства; окраска, а также деформация при изменении давления [2]. Все эти свойства могут оказать существенное влияние на качество печатной продукции.

Подбор образцов осуществлялся на фирмах, которые поставляют различные виды офсетного полотна на рынок полиграфических материалов (фирмы «ВИП-полиграфические материалы», «НИССАБЕЛ» и др.). Были исследованы образцы офсетного полотна фирмы «Frithjof Tutzschke» следующих сортов: Unterlagtuch, FTC-Airprint-news, FTC-Crystal, FTC-Ruby-uv, а также офсетное полотно фирмы «Heidelberg», предназначенное для печати на листовых офсетных машинах.

Для построения микропрофилей выбранных образцов офсетного полотна использовался профилометр с алмазной иглой [9]. При определении системы параметров настройки профилометра образцы просматривались в оптический микроскоп для контроля вида профилограмм по определенным характерным участкам микроструктуры поверхности офсетного полотна. Вывод профилограмм на графопостроитель осуществлялся со следующим увеличением: вертикальным —  $500\times$  и горизонтальным —  $40\times$ .

Экспериментальные данные представляют собой оцифрованную профилограмму образца: координаты точек рельефа, расположенных вдоль прямой линии через одинаковые промежутки. Такое представление исходной информации позволяет затем выбрать характерные участки профилограмм на основе анализа визуальной картины — графика, построенного на ЭВМ с помощью стандартных математических пакетов. Файлы, содержащие координаты вершин отображенных участков, служат входными данными программы расчета фрактальной размерности «F-DIM».

Процедура оцифровывания профилограмм основывается на определенных положениях теории фракталов, а именно, одном из определений показателя фрактальной размерности:

$$N = \left( \frac{R}{r_0} \right)^{D_{np}}, \quad (1)$$

где  $N$  — количество шагов по профилограмме;  
 $R$  — длина базовой линии;  
 $r_0$  — масштаб или шаг;  
 $D_{np}$  — показатель фрактальной размерности микропрофиля.

Фактически процедура оцифровывания проводилась следующим образом. Участок профилограммы длиной  $R$  измеряли в единицах масштаба  $r_0$  по прямой и по профилю, последовательно увеличивая масштаб  $r_0$ . В результате получали табличную зависимость количества шагов по профилю  $N$  от количества шагов по прямой  $R/r_0$ .

Очевидно, отношение  $R/r_0$  — это число шагов по прямой, при этом для гладкой поверхности профилограмма близка к прямой и  $N$  практически совпадает с  $R/r_0$ .

Для вычисления фрактальной размерности  $D_{np}$  исследуемый участок профилограммы «проходится» с десятью значениями шага

( $r_0 = r_0^{min} \times i, i = \overline{[1,10]}$ ), что аналогично измерению длины контура с помощью циркуля с расстановкой, равным шагу. Для каждого случая рассчитывается длина профилограммы в шагах  $N_i$ .

В соответствии с формулой (1) между  $\ln(R/r_0)$  и  $\ln(N)$  должна быть линейная зависимость, коэффициент которой и будет искомой величиной  $D_{np}$ . Близость зависимости  $\ln(N_i)$  от  $\ln(R/r_0')$  к прямой подтверждает фрактальный характер исследуемой микроструктуры. Значение фрактальной размерности определяется по методу наименьших квадратов [6].

Прологарифмируем выражение (1) для вычисления  $D_{np}$ :

$$\ln N = D_{np} \ln \left( \frac{R}{r_0} \right). \quad (2)$$

Далее представим выражение (2) в виде:

$$y = bx, \quad (3)$$

где  $y = \ln N, b = D_{np}, x = \ln \left( \frac{R}{r_0} \right)$ .

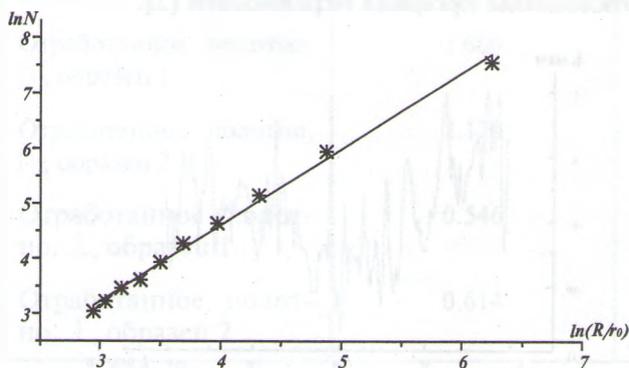


Рис. 1. Зависимость длины участка микропрофиля от величины шага для поверхности нового офсетного полотна

Коэффициент  $b$  для всех видов офсетного полотна определяли по методу наименьших квадратов. В качестве примера на рис. 1 пред-

ставлена в логарифмических координатах зависимость длины участка микропрофиля от величины шага для поверхности офсетного полотна (машинное направление). Тот факт, что экспериментальные данные хорошо аппроксимируются линейной зависимостью, подтверждает фрактальный характер микроструктуры бумаги.

В соответствии с формулой (3) фрактальные размерности микропрофилей равны тангенсу угла наклона проведенной по методу наименьших квадратов прямой на рис. 1.

После математической обработки всех профилограмм данные о фрактальных размерностях микропрофилей сводятся в табл. 1. Далее необходимо перейти от фрактальной размерности микропрофиля к фрактальной размерности поверхности структуры офсетного полотна.

Для этих целей воспользуемся следующими топологическими и физическими соображениями. Фрактальная размерность подпространства пересечения двух пространств с размерностью  $D$  и  $H$  равна:

$$D_{np} = D + H - d, \quad (4)$$

где  $d$  — топологическая размерность охватывающего пересечения пространства.

Поскольку микропрофиль представляет собой сечение пространственной структуры бумаги плоскостью, то  $H = 2, d = 3$ . Тогда фрактальная размерность подпространства пересечения двух пространств определяется:

$$D_{np} = D - 1. \quad (5)$$

Соответственно, фрактальная размерность структуры офсетного полотна:

$$D = D_{np} + 1. \quad (6)$$

Результаты расчета фрактальной размерности структуры офсетного полотна по формуле (6) также сведены в табл. 1.

Таблица 1

Фрактальные размерности микропрофиля и поверхности офсетного полотна

Вид материала	Марка образца	Фрактальная размерность микропрофиля образца, $D_{np}$	Фрактальная размерность поверхности, $D$
Офсетное	FTC-Crystal	1.520	2.520
полотно фирмы	FTC-Ruby-uv	1.467	2.467

«Frithjof Tutzschke»	FTC-Airprint-news	1.393	2.393
	Unterlagtuch	1.379	2.379
Офсетное полотно фирмы «Heidelberg»	3 PLY Compress	1.439	2.439
	4 PLY Compress	1.460	2.460
	4-х слойное, 3610	1.573	2.573

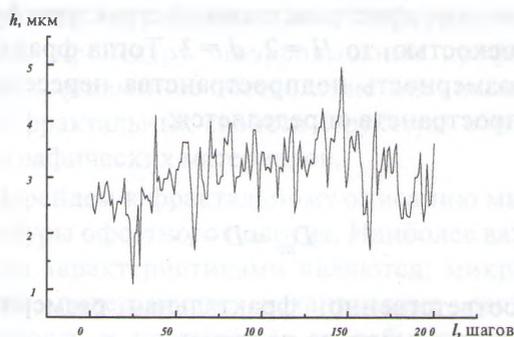
Образцы офсетного полотна отличаются по количеству слоев. Так, офсетное полотно FTC-Crystal состоит из 4 слоев, FTC-Ruby-uv — из 5, FTC-Airprint-news — 4, Unterlagtuch — из 2 слоев, 3 PLY Compress — 6-ти слойное полотно, 4 PLY Compress состоит из 5 слоев.

По величине фрактальной размерности можно судить о микроструктуре исследуемых поверхностей офсетных полотен и сделать выводы относительно некоторых их технологических свойств. Действительно, из табл. 1 видно, что фрактальная размерность поверхности различных образцов отличаются, т. е., так как фрактальная размерность поверхности офсетного полотна больше, чем, например, офсетного полотна FTC-Airprint-news, то оно имеет более рельефную структуру. Это значит, что, при прочих одинаковых факторах и условиях, адгезия краски к поверхности офсетного полотна FTC-Crystal может быть выше

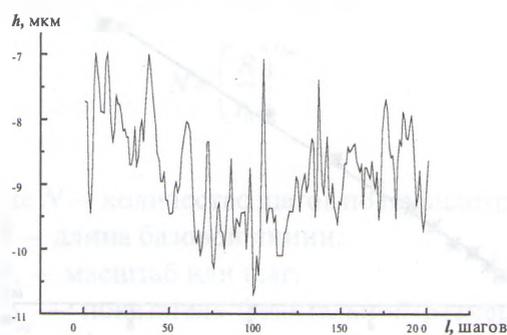
адгезии краски к поверхности офсетного полотна FTC-Airprint-news.

Перейдем далее к следующему этапу: исследованию изменения фрактальных свойств в результате приработки офсетного полотна и анизотропии микрогеометрии поверхности. Для этого применима описанная выше методика.

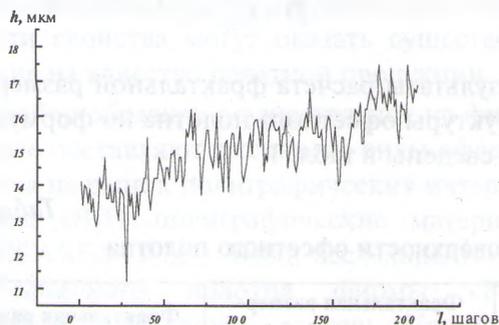
Графическое отображение профилограмм поверхности образцов офсетного полотна на рис. 2 свидетельствует о том, что поверхность является шероховатой, со стохастическим распределением неровностей. Анализ микропрофилей подтверждает известные из технической литературы [3] сведения, что шероховатость полотна составляет величину порядка  $Ra \approx 0.4$ – $1.0$  мкм. В качестве характеристики шероховатости  $Ra$  используется среднее арифметическое отклонение профиля неровностей [3].



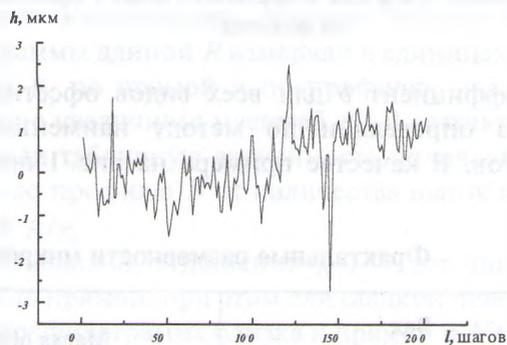
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Профилограммы поверхности офсетного полотна:

а) новое полотно в продольном направлении; б) новое полотно в поперечном направлении; в) отработанное полотно в продольном направлении; г) отработанное полотно в поперечном направлении

Если сопоставить между собой профилограммы нового офсетного полотна в продольном и в поперечном направлении, то сложно сказать, имеет ли место анизотропия поверхности. Аналогично мало заметны различия между новым и отработанным полотном. Тем не менее в процессе печатания полотно непрерывно подвергается механическим и химическим воздействиям, что сказывается на состоянии поверхности. Показателем изменения свойств поверхности являются средние квадратические значения профиля, вычисленные по данным профилограмм.

Кроме того, микрогеометрию поверхности офсетного полотна можно исследовать с помощью метода нормированного размаха, или  $R/S$ -метода, где  $R$  представляет собой размах, или

разность между максимальным и минимальным значениями микронеровности, а  $S$  — стандартное отклонение (квадратный корень из дисперсии). Нормированный размах описывается эмпирическим соотношением [4]:

$$R/S = (\tau/2)^H, \quad (7)$$

где  $\tau$  — количество шагов;

$H$  — показатель Херста.

Фрактальная размерность определяется по формуле [9]:

$$D_{R/S} = 3 - H. \quad (8)$$

Результаты расчета стандартного отклонения, фрактальной размерности методом Хаусдорфа-Безиковича и нормированного размаха также приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Фрактальная размерность образцов поверхности офсетного полотна

Образцы полотна	Среднее квадратическое профиля, мкм	Фрактальная размерность $D_{H-B}$	Фрактальная размерность $D_{R-S}$	Размерность поверхности $D_S$
Новое полотно в продольном (  ) направлении	0.607	1.366	1.641	2.366
Новое полотно в поперечном (⊥) направлении	0.724	1.329	1.651	2.329
Отработанное полотно,   , образец 1	1.600	1.429	1.682	2.429
Отработанное полотно,   , образец 2	2.170	1.417	1.673	2.417
Отработанное полотно, ⊥, образец 1	0.546	1.355	1.613	2.355
Отработанное полотно, ⊥, образец 2	0.614	1.374	1.667	2.374

По результатам исследований можно заключить, что поверхность нового полотна одинакова в продольном и поперечном направлениях. Однако в процессе печатания износ поверхности в указанных направлениях проходит по-разному.

Циклические механические напряжения в зоне печатного контакта действуют в основном в продольном направлении. В результате в полотне появляются микротрещины. В совокупности механическое и химическое воздействия приводят к тому, что поверхность становится более развитой. Изменение  $D$  в продольном направлении составило 4,2%.

В поперечном направлении изменение фрактальной размерности поверхности не столь существенно и составляет 2,6%. Оно обусловлено

главным образом химическим воздействием на поверхность полотна. Ошибка эксперимента составила 0,4% в поперечном и 0,6% в продольном направлениях.

Фрактальная размерность  $D$  хорошо отражает характер поверхности офсетного полотна, и этот метод, достаточно чувствителен к изменениям на микроуровне. В то же время  $R/S$ -метод менее чувствителен к изменению поверхностного рельефа и не позволяет с достаточной точностью охарактеризовать и сравнить новое и отработанное офсетные полотна.

В целом полученные результаты свидетельствуют о возможности применения теории фракталов к исследованию изменений микроге-

ометрии поверхности офсетного полотна при его эксплуатации в печатных процессах [10].

**Литература**

1. Попрядухин П. А. Технология печатных процессов. М.: Книга, 1968. 360 с.
2. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 368 с.
3. Никанчикова Е. А., Попова А. Л. Технология офсетного производства. Часть II. Печатные процессы. М.: Книга, 1980. 288 с.
4. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
5. Пиотух И. Г., Кулак М. И., Боброва О. П. Влияние фрактальных особенностей структуры на физико-механические свойства печатной бумаги // Труды БГТУ: Физико-математические науки и информатика. 2000. Вып. 8. С. 73—81.

6. Кулак М. И., Боброва О. П., Пиотух И. Г. Взаимосвязь параметров структуры бумаги и давления печатного контакта // Труды БГТУ: Физико-математические науки и информатика. 2000. Вып. 8. С. 82—92.

7. Долгова Т. А., Яковлев М. К., Пиотух И. Г. Фрактальные свойства микроструктуры поверхности офсетных печатных пластин // Труды БГТУ: Физико-математические науки и информатика. 2001. Вып. 9. С. 96—100.

8. Никанчикова Е. А., Попова А. Л. Технология офсетного производства. М.: Книга, 1980. 288 с.

9. Кулак М. И., Пиотух И. Г., Позднев Г. Н. Фрактальный подход к описанию микроструктуры печатной бумаги // Квалилогия книги: Сб. науч. работ. Львов, 1998. С. 24—25.

10. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Мн.: Выш. шк., 2002. 304 с.

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение	Группа
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...
9	...	...	...	...
10	...	...	...	...