

Кулак М. И., профессор; Медяк Д. М., студентка;
Пласконная Н. В., магистрант

ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА НА КОЭФФИЦИЕНТ РАЗДЕЛЕНИЯ КРАСКИ

The segregation coefficient is needed to calculate painting balance for publication printing. Ways of identification and methods of calculating segregation coefficient for different models is studied in this article. The mathematical functions, obtained by results of calculations, are given.

Исследование зависимости между качеством оттисков и условиями их получения, а также вскрытие основных закономерностей взаимодействия бумаги и краски, определяющих качество печати, должно основываться на глубоком проникновении в механизм явлений, протекающих в печатном процессе, и тем самым создать условия для эффективного управления этим процессом [1].

В теории печатного процесса наиболее важным для осуществления процесса печати считается условие, чтобы краска прилипала к поверхности валиков, печатной формы, а также бумаги, и при передаче краски происходило деление ее слоя [2].

В настоящее время разработаны два варианта теории разделения (разрыва) красочного слоя [1, 2]. Первый из них можно назвать энергетическим вариантом теории разделения [2]. В нем основное внимание уделяется энергетическим и силовым аспектам процесса разрыва слоя краски. Важным достижением теории с точки зрения построения реалистичной модели структуры слоя в момент разделения является введение представлений о формировании в нем красочных нитей. Предполагается, что после разрыва красочных нитей и происходит окончательное разделение слоя. Однако в теории не рассматривается вопрос о том, сколько краски переходит на принимающую поверхность и сколько остается на отдающей поверхности.

Во втором варианте теории переход краски с отдающей поверхности на принимающую рассматривается, исходя из чисто геометрических соображений [1]. В качестве количественной меры для расчета баланса краски при разделении слоя можно использовать коэффициент разделения [3]. Этот коэффициент определяет отношение количества краски на оттиске к количеству краски свободного красочного слоя отдающей поверхности. Традиционно полагают, что на принимающую поверхность переходит половина свободного красочного слоя [3], то есть коэффициент разделения равен 0,5.

Определить экспериментально коэффициент разделения довольно сложно. Ранее в работе [3] была построена фрактальная модель процесса переноса печатной краски с офсетного полотна на бумагу. В процессе построения модели рассчитывался коэффициент перехода краски с отдающей поверхности печатного контакта на принимающую поверхность. При расчете коэффициента перехода коэффициент разделения слоя используется, то есть он явным образом входит в теорию. Однако коэффициент перехода больше подходит для сравнения теории и эксперимента, поскольку для него существуют экспериментальные данные.

Вместе с тем выполненное в [3] фактическое сопоставление теоретических значений коэффициента перехода с экспериментальными показало, что значение коэффициента разделения, равное 0,5, явно недостаточно. Для того чтобы получить приемлемое совпадение теории и эксперимента, необходимо принимать значение этого коэффициента, близкое к 0,8.

Причину расхождения объясняет рис. 1 — предположение о том, что в процессе разведения поверхностей печатного контакта свободный красочный слой делится ровно по середине, является сильно идеализированным.

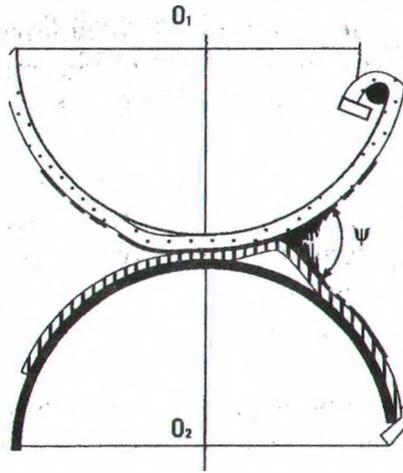


Рис. 1. Поведение краски в зоне печатного контакта [4]

Таким образом, для более точных расчетов баланса краски, особенно в связи с учетом стохастичности поверхностей печатного контакта, возникает необходимость построения более реалистичной модели процесса разделения красочного слоя и определения коэффициента разделения краски. Схематически отличие новой модели разделения красочного слоя от модели, предложенной Л. А. Козаровицким [1], представлено на рис. 2.

Согласно представлениям [1], красочный слой на отдающей поверхности состоит из двух составляющих: постоянного и свободного красочного слоя (рис. 2, а). Толщина постоянного красочного слоя, достигнутая в начале печатания, остается неизменной в течение печати тиража и обуславливается высотой микронеровностей поверхности. Свободный красочный слой в процессе разведения поверхностей делится пополам по высоте, чем обеспечивает переход краски на принимающую поверхность.

В новой модели предполагается, что весь слой краски над каждой точкой отдающей (принимающей) поверхности делится пополам (рис. 2, б). Иными словами, пополам делятся все отрезки, соединяющие противостоящие друг другу точки отдающей и принимающей поверхностей. В этом случае в сечении поверхности раздела получится линия, представляющая собой не прямую, а фрактальную линию.

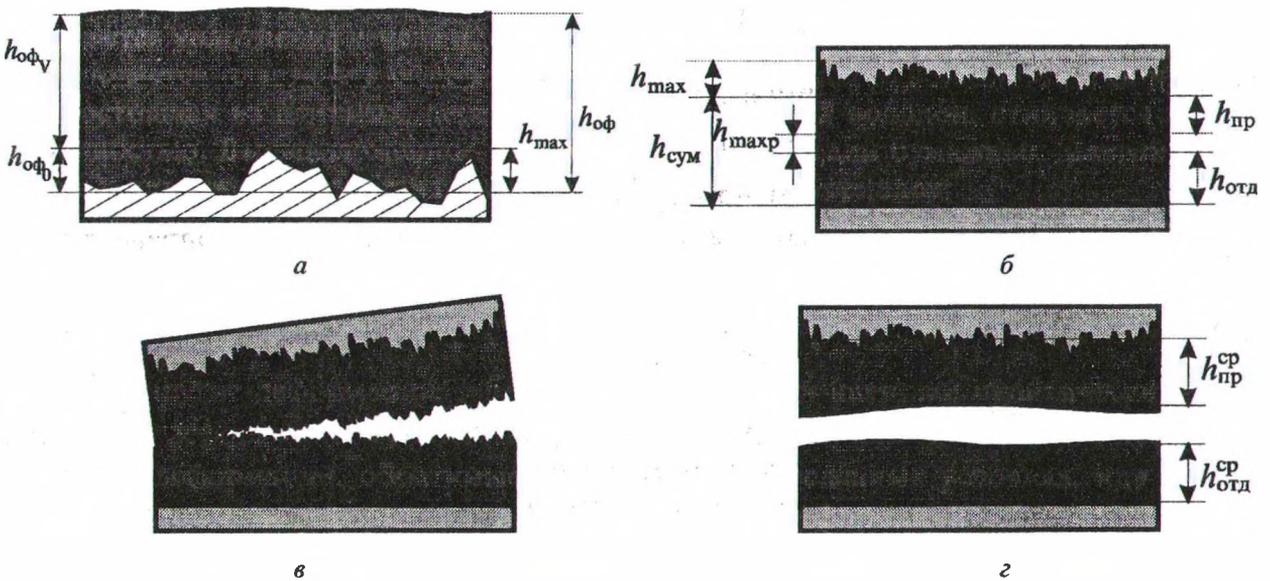


Рис. 2. Схема разъединения красочного слоя между плоской и фрактальной поверхностями: а — модель Л. А. Козаровицкого [1]; б, в, г — предлагаемая модель

При разведении отдающей и принимающей поверхностей поверхности красочного слоя будут сохранять стохастический характер (рис. 2, в), что ближе к рис. 1. По истечении некоторого времени поверхности раздела станут ровными и практически плоскими (рис. 2, г).

Предлагаемая модель разделения красочного слоя может быть описана математически с помощью теории фракталов. Согласно рис. 2, б, начальный объем краски V_n будет состоять из краски, находящейся между поверхностями и размещенной в микронеровностях развитой поверхности:

$$V_n = V_{\text{сум}} + V_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{сум}}$ — объем краски суммарного красочного слоя; $V_{\text{п}}$ — объем краски, находящейся в микронеровностях (краскоемкость шероховатой поверхности).

Формула, отражающая зависимость краскоемкости от величины максимального размаха микронеровностей $h_{\text{мах}}$, была получена в [5]:

$$V_{\text{п}} = S_0 h_{\text{мах}} (1 - \tilde{h}_{\text{мах}}^{2-D_S}), \quad (2)$$

где S_0 — площадь печатного элемента; $\tilde{h}_{\text{мах}}$ — высота микронеровностей принимающей поверхности в относительных единицах; D_S — фрактальная размерность шероховатой поверхности.

Используя обозначения, приведенные на рис. 2, б, начальный объем краски можно представить в следующем виде:

$$V_n = S_0 (h_{\text{отд}} + h_{\text{махр}} + h_{\text{пр}}) + S_0 h_{\text{мах}} (1 - \tilde{h}_{\text{мах}}^{2-D_S}). \quad (3)$$

Линия разделения красочного слоя в рассматриваемом случае получается сложением ломаной, соответствующей принимающей поверхности, и прямой, которая соответствует отдающей поверхности. Количество краски, оставшееся на отдающей поверхности, может быть определено с помощью фрактальной размерности линии разделения

$$V_{\text{отд}} = S_0 h_{\text{отд}} + S_0 h_{\text{махр}} (1 - \tilde{h}_{\text{махр}}^{2-D_S^p}), \quad (4)$$

где $h_{\text{махр}}$ — величины максимального размаха микронеровностей в сечении поверхности разделения; $\tilde{h}_{\text{махр}}$ — высота микронеровностей в относительных единицах; D_S^p — фрактальная размерность поверхности разделения.

Объем краски, перешедший на воспринимающую поверхность, определяется как разность выражений (3) и (4):

$$V_{\text{пр}} = S_0 h_{\text{пр}} + S_0 h_{\text{мах}} - S_0 h_{\text{мах}} \tilde{h}_{\text{мах}}^{2-D_S} - S_0 h_{\text{махр}} \tilde{h}_{\text{махр}}^{2-D_S^p}. \quad (5)$$

Для расчета коэффициента разделения краски по новой модели необходимо найти среднюю толщину красочного слоя после разделения, которая представляет собой отношение объема краски на принимающей поверхности к площади единичной площадки:

$$h_{\text{пр}}^{\text{ср}} = h_{\text{пр}} + h_{\text{мах}} - h_{\text{мах}} \tilde{h}_{\text{мах}}^{2-D_S} - h_{\text{махр}} \tilde{h}_{\text{махр}}^{2-D_S^p}. \quad (6)$$

Принимая количества краски на отдающей и принимающей поверхностях равными, выразим толщину слоя краски на отдающей поверхности через толщину слоя

краски на принимающей поверхности:

$$h_{\text{отд}} = h_{\text{пр}} + h_{\text{max}} - h_{\text{maxр}} - h_{\text{max}} \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S} \quad (7)$$

Для новой модели разделения краски коэффициент будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\beta = \frac{h_{\text{пр}} + h_{\text{max}} - h_{\text{max}} \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S} - h_{\text{maxр}} \tilde{h}_{\text{maxр}}^{2-D_S^P}}{h_{\text{отд}} + h_{\text{maxр}} + h_{\text{пр}}} \quad (8)$$

Подставив (7) в (8), получим следующую зависимость:

$$\beta = \frac{h_{\text{пр}} + h_{\text{max}} - h_{\text{max}} \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S} - h_{\text{maxр}} \tilde{h}_{\text{maxр}}^{2-D_S^P}}{2h_{\text{пр}} + h_{\text{max}} - h_{\text{max}} \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S}} \quad (9)$$

Выразив из (6) толщину слоя краски на принимающей поверхности и подставив в (9), получим окончательное выражение для коэффициента β :

$$\beta = \frac{h_{\text{пр}}^{\text{CP}}}{2 \left(h_{\text{пр}}^{\text{CP}} + h_{\text{maxр}} \tilde{h}_{\text{maxр}}^{2-D_S^P} \right) - h_{\text{max}} \left(1 - \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S} \right)} \quad (10)$$

Как видно из формулы (10), новый коэффициент зависит от фрактальной размерности поверхности разделения. Нахождение этой размерности достаточно сложная задача, поэтому применим более простой и продуктивный подход, основанный на численных методах. Суть подхода состоит в использовании оцифрованных микропрофилей конкретных печатных поверхностей (печатной формы, бумаги) для расчета коэффициента разделения.

Согласно определению, формула для расчета коэффициента разделения краски по модели Л. А. Козаровицкого будет выглядеть следующим образом:

$$\beta = \frac{1/2(h_{\text{отд}} + h_{\text{maxр}} + h_{\text{пр}}) + h_{\text{max}}(1 - \tilde{h}_{\text{max}}^{2-D_S})}{h_{\text{отд}} + h_{\text{maxр}} + h_{\text{пр}}} \quad (11)$$

Для нахождения объема краски в численно-аналитической теории используются методы численного интегрирования, в частности формула трапеций, согласно которой площадь фигуры, ограниченной некоторой функцией и осью координат, определяется по следующей формуле [6]:

$$S = l \left[\frac{1}{2} f(x_0) + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + \frac{1}{2} f(x_n) \right] \quad (12)$$

где l — шаг по оси x между двумя значениями функции.

Обозначим выражение в скобках через F . Начальный объем краски можно найти, рассчитав F для координат микронеровностей воспринимающей поверхности с учетом толщины суммарного слоя краски:

$$V_{\text{н}} = F_{\text{пр}} \cdot l \cdot L, \quad (13)$$

где L — длина площадки поверхности.

Аналогично определяется объем краски для значений линии разделения, который будет соответствовать объему краски на отдающей поверхности

$$V_{\text{отд}} = F_{\text{раз}} \cdot l \cdot L. \quad (14)$$

Количество краски на принимающей поверхности определится как разность выражений (13) и (14):

$$V_{\text{пр}} = (F_{\text{пр}} - F_{\text{раз}}) \cdot l \cdot L. \quad (15)$$

Частное от деления (15) на площадь исследуемой поверхности является средней толщиной красочного слоя на принимающей поверхности:

$$h_{\text{пр}}^{\text{ср}} = \frac{F_{\text{пр}} - F_{\text{раз}}}{n - 1}. \quad (16)$$

Коэффициент разделения в таком случае будет равен

$$\beta = \frac{F_{\text{пр}} - F_{\text{раз}}}{h_{\text{сум}}(n - 1)}. \quad (17)$$

Применяя данный численный метод для модели Л. А. Козаровицкого, получим следующие соотношения:

1) объем краски на отдающей поверхности

$$V_{\text{отд}} = \frac{h_{\text{сум}} \cdot L \cdot l(n - 1)}{2}; \quad (18)$$

2) количество краски на принимающей поверхности

$$V_{\text{пр}} = \left[F_{\text{пр}} - \frac{h_{\text{сум}}(n - 1)}{2} \right] \cdot L \cdot l; \quad (19)$$

3) средняя толщина красочного слоя на принимающей поверхности

$$h_{\text{пр}}^{\text{ср}} = \frac{F_{\text{пр}}}{n - 1} - \frac{h_{\text{сум}}}{2}; \quad (20)$$

4) коэффициент разделения краски

$$\beta = \frac{F_{\text{пр}}}{h_{\text{сум}}(n - 1)} - \frac{1}{2}. \quad (21)$$

Рассмотренная схема, в которой одна из поверхностей печатного контакта является фрактальной, а вторая — плоской, имеет место в случаях различия шероховатости поверхностей на порядок и более. Тогда меньшей шероховатостью можно пренебречь и считать соответствующую поверхность плоской.

В действительности, для реальных поверхностей печатного контакта, как правило, шероховатости сопоставимы, хотя и различаются [7, 8]. В этом случае процесс

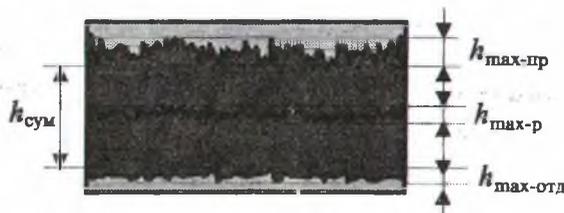


Рис. 3. Схема разделения красочного слоя между двумя фрактальными поверхностями

разделения краски происходит между двумя фрактальными поверхностями (рис. 3). Соответственно изменятся и формулы для численно-аналитической теории, так как необходимо учитывать и микронеровности отдающей поверхности.

Начальный объем краски в рассматриваемом случае будет меньше по сравнению с предыдущим на величину объема краски в микронеровностях и определится по следующей формуле:

$$V_{н1} = (F_{пр} - F_{отд}) \cdot l \cdot L. \quad (22)$$

Количество краски на отдающей поверхности определяется аналогично случаю с плоской и фрактальной поверхностями за вычетом небольшого количества краски, находящейся на шероховатой отдающей поверхности:

$$V_{отд1} = (F_{раз1} - F_{отд}) \cdot l \cdot L. \quad (23)$$

Тогда, соответственно, количество краски на принимающей поверхности определится как

$$V_{пр1} = (F_{пр} - F_{раз1}) \cdot l \cdot L. \quad (24)$$

Средняя толщина красочного слоя на принимающей поверхности вычисляется исходя из выражения (24):

$$h_{пр1}^{ср} = \frac{F_{пр} - F_{раз1}}{n - 1}. \quad (25)$$

Коэффициент разделения в этом случае определяется практически аналогично рассматриваемому ранее частному случаю:

$$\beta_1 = \frac{F_{пр} - F_{раз1}}{h_{сум1}(n - 1)}. \quad (26)$$

Применяя те же рассуждения для модели краскопереноса Л. А. Козаровицкого, получим следующий ряд выражений:

1) количество краски на отдающей поверхности

$$V_{отд1} = \frac{h_{сум1} L l (n - 1)}{2}; \quad (27)$$

2) объем краски на принимающей поверхности

$$V_{пр1} = \left[F_{пр} - F_{отд} - \frac{h_{сум1}(n - 1)}{2} \right] L \cdot l; \quad (28)$$

3) средняя толщина красочного слоя на принимающей поверхности

$$h_{пр1}^{ср} = \frac{F_{пр} - F_{отд}}{n - 1} - \frac{h_{сум1}}{2}; \quad (29)$$

4) коэффициент разделения краски β

$$\beta_1 = \frac{F_{пр} - F_{отд}}{h_{сум1}(n - 1)} - \frac{1}{2}. \quad (30)$$

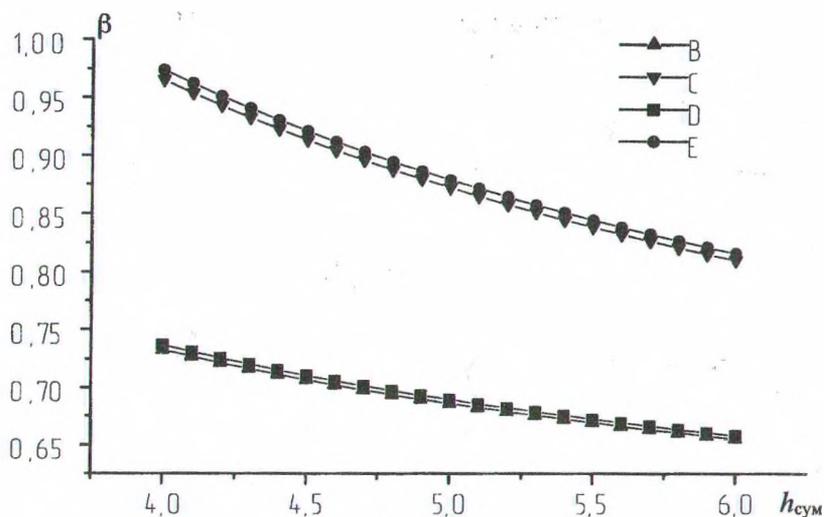


Рис. 4. Результаты расчетов по моделям для поверхностей печатного контакта: *a* — плоскость — фрактальная поверхность: *E* — подход Л. А. Козаровицкого; *D* — новый подход; *b* — фрактальная поверхность — фрактальная поверхность: *C* — подход Л. А. Козаровицкого; *B* — новый подход

Численно-аналитический метод легко поддается программированию. Значения, полученные в результате расчетов по программе, представлены в виде графических зависимостей на рис. 4.

Анализируя рис. 4, можно отметить, что коэффициент разделения краски при расчете по теории Л. А. Козаровицкого и предлагаемой модели различается на 24%. Это свидетельствует о том, что новая модель более реально рассматривает коэффициент разделения краски. Учет шероховатости отдающей поверхности в ситуации, когда отдающей является печатная форма, а принимающей — бумага, дает снижение коэффициента β на 0,9% в первом случае и на 0,4% во втором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. — М.: Книга, 1965. — 367 с.
2. Попрядухин П. А. Технология печатных процессов. — М.: Книга, 1968. — 360 с.
3. Медяк Д. М. Фрактальная модель процесса переноса печатной краски с офсетного полотна на бумагу // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / БГТУ. — Мн., 2001. — С. 139—145.
4. Самарин Ю. Н., Сапошников Н. П., Синяк М. А. Печатные системы фирмы Heidelberg. Листовые офсетные печатные машины. — М.: МГУП, 2000. — 136 с.
5. Пиотух И. Г., Пласконная Н. В., Медяк Д. М. Влияние фрактальных особенностей микроструктуры поверхности на краскоемкость печатной бумаги // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / БГТУ. — Мн., 2001. — С. 67—74.
6. Калиткин Н. Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978. — 512 с.
7. Кулак М. И., Пиотух И. Г., Медяк Д. М. Микрогеометрия фрактальной поверхности офсетного полотна // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информатика. — 2001. — Вып. 9. — С. 87—90.
8. Кулак М. И., Медяк Д. М. Механика краскопереноса в офсетной технологии печати // Сб.: Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. — Мн., 2001. — С. 283—287.