

УДК 655.3.06

М. И. КУЛАК, Д. М. МЕДЯК, О. П. СТАРЧЕНКО

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРА РАСТРОВЫХ ТОЧЕК

Белорусский государственный технологический университет

(Поступила в редакцию 17.10.2006)

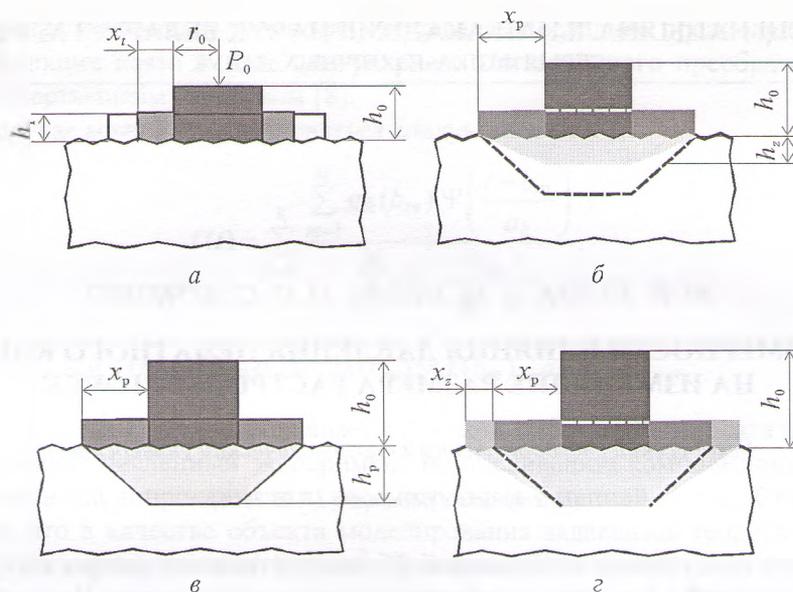
Воспроизведение полутоновых изображений в большинстве современных способов печати основано на передаче градаций с помощью дискретных растровых элементов. Важной задачей управления качеством печатной продукции является контроль изменения размера растровых элементов при их переносе с печатной формы на оттиск. Эффект увеличения размера растровых точек на оттиске по сравнению с их исходным размером обозначается в теории и технологии печатных процессов техническим термином «растискивание». В общем случае растискивание включает в себя две составляющие: физическое увеличение размера точек за счет механического растискивания и кажущееся их увеличение за счет рассеяния света, получившее название оптического растискивания. Количественно растискивание измеряется в процентах от исходной площади растровых точек на фотоформе.

Механическое растискивание вызвано тем, что в процессе печати краска переносится на бумагу под давлением. В соответствии со сложившимися в настоящее время в технологии печатных процессов представлениями [1, 2] это растискивание зависит от следующих факторов: количества краски на печатной форме и ее вязкости; упругих свойств офсетного полотна; структуры поверхности бумаги; настройки печатной машины (например, давления между цилиндрами печатного аппарата) и ее технического состояния.

Причинами оптического растискивания являются поглощение и рассеяние света в бумаге и краске. Часть света проникает через незапечатанную поверхность бумаги, рассеивается под растровыми элементами и, проходя через слой краски, поглощается. Это вызывает ослабление отраженного света и создает мнимое увеличение растровых элементов.

Таким образом, причин и факторов, влияющих на эффект растискивания, довольно много, учет всех факторов и параметризация этого множества довольно затруднительны. Дополнительная сложность заключается также в том, что многие факторы и их изменение в динамических условиях (например, скорость процесса, давление в зоне печатного контакта, длина пути, проходимость краской в красочном аппарате, реологические характеристики краски) оказывают на результат печатного процесса неоднозначное воздействие, улучшая одни и ухудшая другие показатели качества оттиска. Поэтому основные режимные параметры печатного процесса и наиболее важные структурно-механические характеристики печатных материалов должны оптимизироваться на основе знания общих закономерностей, отражающих их взаимозависимость и взаимовлияние, с учетом конкретных особенностей способа печати и реализуемого на практике его технологического варианта [1]. В таких условиях возникает необходимость построения последовательной структурной теории, позволяющей реализовать системную методологию изучения растискивания как технологической проблемы.

Для анализа процесса механического растискивания растровой точки в технологии офсетной печати предлагается принципиальная схема, приведенная на рисунке. Отличительная особенность офсетной технологии печати заключается в том, что краска передается на бумагу не непосредственно с печатной формы, а через промежуточное звено — офсетный цилиндр, покрытый офсетным резинотканевым полотном.



Принципиальная схема механического растискивания растровой точки

В соответствии с этой схемой в самом общем случае в процессе растискивания можно выделить три фазы, показанные на рисунке *a–г*. Однако наличие тех или иных конкретных фаз в общем процессе растискивания существенным образом зависит от соотношения начальной толщины слоя краски на растровой точке h_0 и ее толщины на печатном 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 [1]. Первая фаза растискивания (рисунок *a*) начинается при условии $h_0 \leq h_T$. В этом случае при попадании растровой точки в зону печатного контакта и воздействии давления печатного контакта краска растекается в щелевом зазоре между офсетным полотном и поверхностью бумаги. Однако объема краски еще недостаточно для ее проникновения в бумагу.

Вторая фаза растискивания (рисунок *б*) 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 $t_{\text{кон}}$. Предельное состояние второй фазы показано на рисунке *в*. В первую очередь в бумагу начнет поступать краска, находящаяся непосредственно под растровой точкой. Эта краска за время печатного контакта проникнет в глубь бумаги на максимальную глубину за счет диффузии. В итоге проникающая в поры бумаги краска будет иметь форму усеченного конуса и занимать соответствующий объем.

Если и дальше увеличивать подачу краски в исходном состоянии, то начнется третья фаза растискивания (рисунок *г*). Поскольку объем краски, который может диффундировать в бумагу за время печатного контакта, ограничен, то «излишек» краски будет затекать по поверхности растровой точки за ее края. Некоторая часть этой краски может проникнуть и в бумагу. Рассмотренная качественная схема механического растискивания растровой точки далее используется для построения структурной теории данного процесса.

Поровое пространство бумаги имеет сложную структуру. В [3] показано, что для описания его неоднородности необходимо использовать распределение фрактальных размерностей. Данный факт характеризует поровое пространство бумаги как мультифрактальный объект [4]. В соответствии с [3] закон распределения фрактальных размерностей по толщине бумажного листа $D_{\text{п}}(x)$ и распределение пористости $\Pi(x)$ определяются по формулам:

$$D_{\text{п}}(x) = d + \frac{\ln(1 - x^{D-d})}{\ln(x)}, \quad (1)$$

$$\Pi(x) = x^{D_{\text{п}}-d}, \quad (2)$$

где x – координата слоя в толще бумажного листа в единицах радиуса его волокон; d – евклидова размерность пространства; D – фрактальная размерность скелета бумаги.

Исходя из графической формы законов распределения пористости для различных видов бумаги можно отметить, что при переходе от внутренних слоев бумаги к ее поверхности значение пористости существенно меняется [3]. Для газетной и офсетной бумаги она возрастает практически в два раза. Естественно, различие в пористости внутренних слоев и поверхности бумаги влияет и на механическое растискивание растровых точек. Поэтому при построении теории их механического растискивания необходимо учитывать неоднородность структуры порового пространства бумаги.

Определим взаимосвязь между размером растровой точки и линиатурой растра. Линиатура растра представляет собой количество растровых точек на единицу длины. В качестве единицы длины, как правило, принимается дюйм. Относительная площадь растровых точек связана с их абсолютной площадью и площадью растровой ячейки следующей формулой [2]:

$$S_{\text{отн}} = S_{\text{T}} / S_{\text{ед}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{отн}}$ – относительная площадь растровой точки; S_{T} – абсолютная площадь растровой точки, мкм²; $S_{\text{ед}}$ – площадь единичной ячейки растровой точки, мкм².

Зная линиатуру растра, определяем площадь ячейки растровой точки

$$S_{\text{ед}} = \left(\frac{2,54 \cdot 10^4}{L} \right)^2, \quad (4)$$

где L — линиатура растра, lpi.

Абсолютная площадь растровой точки

$$S_{\text{T}} = \pi r_0^2, \quad (5)$$

где r_0 — радиус растровой точки, мкм.

Подставим (4) и (5) в (3) и получим

$$S_{\text{отн}} = \pi r_0^2 \left(\frac{L}{2,54 \cdot 10^4} \right)^2. \quad (6)$$

Из формулы (6) находим радиус растровой точки

$$r_0 = \sqrt{\frac{2,54^2 \cdot 10^8 S_{\text{отн}}}{\pi L^2}}. \quad (7)$$

Далее рассмотрим первую фазу процесса растискивания. Как уже указывалось, суть ее в том, что первоначальный объем краски на растровой точке V_0 растекается по поверхности бумаги. Если обозначить ширину ореола механического растискивания (увеличение радиуса точки) x_t , то уравнение баланса краски на первой фазе процесса имеет вид

$$V_0 = \pi (r_0 + x_t)^2 h_{\text{T}}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) можно определить ширину ореола растискивания

$$x_t = \sqrt{\frac{V_0}{\pi h_{\text{T}}}} - r_0. \quad (9)$$

Соответственно величина растискивания будет равна

$$\Delta S = \frac{S_{\text{T}t} - S_{\text{T}0}}{S_{\text{T}0}} = \frac{\pi (r_0 + x_t)^2}{\pi r_0^2} - 1 = \left(\frac{x_t}{r_0} + 1 \right)^2 - 1, \quad (10)$$

где S_{T_t} – абсолютная площадь растровой точки в некоторый момент времени t ; S_{T_0} – абсолютная площадь растровой точки в начальный момент времени.

Предельное значение ширины ореола растискивания x_p в первой фазе процесса определяется скоростью фильтрации краски в щелевом зазоре между офсетным полотном и поверхностью бумаги, а также временем печатного контакта.

В соответствии с законом Дарси скорость фильтрации краски определяется по формуле [3]

$$v = \frac{K_{\Pi} P_0}{\eta x_t}, \quad (11)$$

где K_{Π} – коэффициент проницаемости пористой среды (бумаги); P_0 – давление в зоне печатного контакта; η – динамическая вязкость краски.

В свою очередь коэффициент проницаемости бумаги K_{Π} зависит от характеристик ее пористости:

$$K_{\Pi} = k \frac{\Pi}{\beta}, \quad (12)$$

где k – коэффициент проницаемости элементарной поровой ячейки; Π – пористость бумаги; β – коэффициент извилистости порового пространства.

Поскольку при теоретическом описании первой фазы процесса растискивания предельное значение ореола растискивания x_p зависит от значения K_{Π} на поверхности бумаги, то оно постоянно. Пористость поверхности бумаги определяется по формуле (2) с учетом подстановки (1)

$$\Pi_s = z_s \frac{\ln(1 - z_s^{D_s - d})}{\ln z_s}, \quad (13)$$

где z_s – половина толщины бумажного листа, выраженная в единицах радиуса волокон бумаги.

Входящий в формулу (12) коэффициент извилистости порового пространства β также зависит от пористости бумаги. Как показано в [3], этот коэффициент определяется таким образом:

$$\beta = \frac{l}{h} = h^{\frac{H}{d} - 1} T^{-\frac{\nu H}{d}}, \quad (14)$$

где H – топологическая размерность гиперкластера, образованного диффундирующей в поверхностных слоях бумаги типографской краской; ν – критический индекс радиуса корреляции кластера пор, при $d = 3$ $\nu = 0,88$; $T = (\Pi - \Pi_c) / (1 - \Pi_c)$, Π_c – критическая пористость, при которой в поровом пространстве поверхностных слоев бумажного листа начинается перколяция краски, при $d = 3$ $\Pi_c = 0,31$.

Топологическая размерность гиперкластера H определяется по формуле:

$$H = G - D_{\Pi} + d, \quad (15)$$

где G – топологическая размерность диффузионного фронта краски, проникающей в бумагу, $G = 4$.

Для поверхности бумажного листа выражение для коэффициента извилистости примет вид

$$\beta_s = z_s^{\frac{H}{d} - 1} \left(\frac{\Pi_s - \Pi_c}{1 - \Pi_c} \right)^{-\frac{\nu H}{d}}. \quad (16)$$

Из формулы (11) можно получить дифференциальное уравнение, описывающее закон движения фронта краски в щелевом зазоре между офсетным полотном и поверхностью бумаги:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{K_{\Pi} P_0}{\eta x}. \quad (17)$$

Проинтегрировав (17), получим, что искомый закон движения имеет следующий вид:

$$x = \sqrt{\frac{2K_{\text{п}}P_0}{\eta} t}. \quad (18)$$

Соответственно за время печатного контакта фронт краски пройдет путь, равный

$$x_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2K_{\text{п}}P_0}{\eta} t_{\text{кон}}}. \quad (19)$$

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

$$V_0 = V_b + V_s, \quad (20)$$

где V_b – объем краски, проникшей в бумагу; V_s – объем краски, оставшейся на поверхности бумаги, который во время второй фазы постоянен и равен

$$V_s = \pi(r_0 + x_{\text{п}})^2 h_{\text{T}}. \quad (21)$$

Количество краски, проникшей в бумагу, будет определяться ее пористостью и объемом конуса

$$V_b = \frac{\Pi}{3} \pi h_z \left[r_0^2 + r_0(r_0 + x_{\text{п}}) + (r_0 + x_{\text{п}})^2 \right]. \quad (22)$$

В соответствии с формулой (22) количество краски, проникшей в бумагу, пропорционально глубине проникновения фронта краски h_z . Кроме того, h_z входит в это выражение и через пористость по формуле (2). Поэтому фактически для определения h_z из уравнения баланса (20) необходимо решить трансцендентное уравнение следующего вида:

$$\frac{\pi h_z}{3} h_z \frac{\ln(1 - h_z^{D_s - d})}{\ln h_z} \left[r_0^2 + r_0(r_0 + x_{\text{п}}) + (r_0 + x_{\text{п}})^2 \right] = V_0 - V_s, \quad (23)$$

решение которого производится с использованием численных методов.

Для определения предельного значения глубины проникновения краски в бумагу за время печатного контакта необходимо знать закон движения диффузионного фронта краски. Для установления этого закона можно воспользоваться дифференциальным уравнением, аналогичным выражению (17):

$$\frac{dh}{dt} = \frac{kP_0}{\eta} \frac{\Pi(h)}{h\beta(h)}. \quad (24)$$

Уравнение (24) содержит закон распределения пор

$$\Pi(h) = h \frac{\ln(1 - h^{D_{\text{п}} - d})}{\ln h}, \quad (25)$$

а также закон распределения коэффициента извилистости порового пространства

$$\beta(h) = h^{\frac{H}{d} - 1} \left[\frac{\Pi(h) - \Pi_c}{1 - \Pi_c} \right]^{\frac{-vH}{d}}. \quad (26)$$

Проинтегрировав уравнение (24), формально получим выражение для определения предельного значения глубины проникновения фронта краски $h_{\text{п}}$ за время печатного контакта

$$\int_0^{h_p} \frac{h\beta(h)}{\Pi(h)} dh - \frac{kP_0}{\eta} t_b^m = 0. \quad (27)$$

Решение уравнения (27) с учетом подстановки формул (25) и (26) возможно только численными методами.

Предельно возможное значение глубины проникновения краски за время печатного контакта равно $h_p = x_p$. Достижение этой величины соответствует окончанию второй фазы процесса растискивания. Максимальный объем краски, который может проникнуть в поровое пространство бумаги, определяется по формуле (22) с учетом расчета h_p .

Третья фаза процесса механического растискивания характеризуется затеканием краски за края поверхности растровых точек. Неоднородность структуры порового пространства бумаги на этом процессе не сказывается.

Уравнение баланса краски в данной фазе будет иметь следующий вид:

$$V_z + V_b + V_s = V_0, \quad (28)$$

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

Ширину ореола затекания краски x_z можно найти из уравнения (28) с учетом, что объем краски V_z определяется следующим образом:

$$V_z = \pi(x_z + x_p + r_0)^2 h_r - V_s. \quad (29)$$

Выражение для x_z имеет вид:

$$x_z = \sqrt{\frac{V_0 - V_b}{\pi h_r}} - x_p - r_0. \quad (30)$$

Величина растискивания будет определяться по формуле

$$\Delta S = \left(\frac{x_z + x_p}{r_0} + 1 \right)^2 - 1. \quad (31)$$

Для расчета толщины слоя краски на растровых точках оттиска использовалась следующая формула [1]:

$$h_r = h_{пл} \left(1 - \frac{L}{10^4} \sqrt{\frac{S_{\min}}{S_0}} \right), \quad (32)$$

где $h_{пл}$ – толщина сплошного красочного слоя (на плашке) оттиска, мкм; S_{\min} – площадь наименьших растровых точек, которые воспринимают печатную краску, мкм². Аналогичная формула использовалась и для расчета начальной толщины слоя краски на растровых точках h_0 , при этом $h_{пл}$ – толщина сплошного слоя краски, перешедшего с офсетного полотна на бумагу.

Величина S_{\min} существенно зависит от условий проведения формного и печатного процессов. При расчетах принималось значение $S_{\min} = 400$ мкм², приведенное в [1]. Расчеты по формулам (1)–(32) для основных видов бумаги (мелованной, офсетной и газетной) выполнялись с использованием технологических параметров офсетной технологии печати. Обобщенные результаты сведены в таблицу с ранжированными значениями эффективности использования параметров технологического процесса для регулирования растискивания с учетом неоднородности порового пространства бумаги.

Показатели эффективности в таблице рассчитывались как отношение изменения растискивания к изменению соответствующего параметра технологического процесса печати. Приведенные в таблице результаты свидетельствуют о том, что наибольшей эффективностью обладает изме-

нение линиатуры растра. Объясняет этот факт формула (7) – изменение линиатуры приводит к изменению радиуса растровых точек. Эффективность изменения давления печати почти в два раза ниже по отношению к линиатуре. При этом наиболее чувствительно к изменению давления механическое растискивание на мелованной бумаге. Влияние изменения скорости печати и вязкости краски имеет практически одинаковую эффективность. При проведении расчетов для всех видов бумаги скорость печати и вязкость краски изменялись в одинаковых пределах.

Эффективность использования параметров технологического процесса при регулировании растискивания

Наименование параметра	Мелованная бумага	Офсетная бумага	Газетная бумага
Линиатура растра L	1,052	1,015	0,994
Давление печати P_0	0,674	0,649	0,641
Скорость печати v	0,583	0,559	0,554
Вязкость краски η	0,578	0,559	0,566

Что касается выработки конкретных рекомендаций по управлению печатным процессом с целью удержания растискивания в пределах нормативных значений, то, как показывают проведенные расчеты, она существенным образом зависит от вида бумаги. Для офсетной и газетной бумаги значения параметров соответствуют значениям, реализуемым обычно в практике работы полиграфических предприятий, поэтому их можно считать оптимальными. Печать на мелованной глянцевой бумаге является более сложным процессом. Поэтому, чтобы минимизировать растискивание до нормативных значений, необходимо варьировать практически все рассмотренные параметры в зависимости от конкретных условий проведения печатного процесса. Предложенная теория позволяет провести необходимые технологические расчеты.

Литература

1. Раскин А. Н., Ромейков И. В., Бирюкова Н. Д. Технология печатных процессов. М., 1989.
2. Кузнецов Ю. В. Основы подготовки иллюстраций к печати. Растривание. М., 1998.
3. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Мн., 2002.
4. Федер Е. Фракталы. М., 1991.

M. I. KULAK, D. M. MEDYAK, O. P. STARCHENKO

REGULARITIES OF PRESSURE INFLUENCE OF PRINT CONTACT ON CHANGES OF RASTER DOTS SIZE

Summary

Process of mechanical gain of raster dot in offset technology in a press is considered. The basic scheme of mechanical gain and calculation procedure for a gain with the account of heterogeneity of porous space and paper surface is presented. The calculation of heterogeneity is carried out by means of the fractal theory. Efficiency of key parameters influence of technological process of offset printing on size of raster dot gain is estimated.