

УДК 519.72

Медяк Д. М., ассистент

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПЕЧАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ КРАСКОПЕРЕНОСА

In the article the decision of a classical problem of optimization on the basis of the equation of ink carry is resulted. As independent variables act fractal dimensions of the basic printed materials. The estimation of the received decision from the technological and practical points of view is made.

Выбор печатных материалов в офсетной технологии печати имеет большое значение, и основными критериями выбора, как правило, являются себестоимость и качество продукции. При этом, как правило, ориентируются на качество конечного продукта — печатного оттиска — и его функциональное назначение. Требуемые характеристики продукции достигаются за счет свойств запечатываемого материала и печатной краски, в то время как характеристикам других печатных материалов, за счет которых происходит получение оттиска, внимания уделяется намного меньше. Кроме того, чаще всего требования по качеству и себестоимости являются противоречащими друг другу.

В работе [1] было получено уравнение краскоперехода в офсете, учитывающее влияние поверхностных свойств печатных материалов на коэффициент перехода краски в офсете. Оно позволяло рассчитать этот коэффициент исходя из фрактальной размерности материалов и размаха микронеровностей микропрофилей поверхности. Был исследован ряд образцов печатных форм, офсетных полотен, различных видов бумаги (мелованная, офсетная, газетная, этикеточная) и картона. Начальным условием являлась стандартная средняя рабочая толщина слоя краски на оттиске, равная 2,5 мкм. Посредством перебора сочетаний триады материалов печатная форма—офсетное полотно—запечатываемый материал рассматривались возможные комбинации данных материалов и выбирались наиболее оптимальные, т. е. с наибольшим значением коэффициента краскопереноса [2].

По результатам расчетов было определено, что наибольшие значения коэффициента перехода достигаются на печатной форме Horsell. Среди офсетных полотен наилучшие показатели у марки 3 PLY Compress. Компрессионные офсетные полотна, к которым относится 3 PLY Compress и 4 PLY Compress, считаются в офсетной технологии печати универсальными за счет наличия внутреннего компрессионного слоя, который позволяет существенно расширить диапазон запечатываемых видов бумаги и картона. Поэтому в данном анализе было выбрано единое офсетное полотно, дающее максимальный коэффициент

перехода для всех рассматриваемых видов запечатываемых материалов.

Анализ коэффициентов перехода в офсете, рассчитанных для различных групп бумаги и картона, позволяет определить оптимальный с точки зрения краскопереноса вариант сочетания материалов. Полные результаты расчетов приведены в [2]. Рекомендуемые варианты сочетаний печатных материалов сведены в табл. 1.

В группе мелованной бумаги оптимальным является сочетание материалов Horsell-3 PLY Compress—Lumi Silk, в группе офсетной бумаги — Horsell-3 PLY Compress—Офсетная №1, для газетной бумаги — Horsell-3 PLY Compress—АО «Волга», в группе этикеточной бумаги — Horsell-3 PLY Compress—Royal Trega. Анализ расчетных данных для картонов показал, что максимальные значения достигаются при печати на материале Слонимского производства, наиболее эффективное сочетание — Horsell-3 PLY Compress—Слонимский картон (370 г/м<sup>2</sup>).

Рассмотренный процесс выбора можно считать качественной оптимизацией, однако представляет определенный интерес постановка классической задачи оптимизации с использованием в качестве критерия коэффициента перехода краски. Ее решение относительно независимых переменных — фрактальных размерностей поверхностей триады материалов — позволит определить их оптимальные значения.

Классическая задача нелинейного математического программирования представляется в следующем виде [3]:

$$\left. \begin{aligned} \max(\min) z &= f(x), \\ \varphi_i(x) &\{ \leq, =, \geq \} b_i \quad (i = \overline{1, m}), \\ x &\geq 0, x = (x_1, \dots, x_n) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

в которой либо целевая функция, либо ограничения, либо и то и другое нелинейны.

Нелинейные задачи составляют широкий класс настолько сложных задач, что до сих пор невозможно разработать общие методы, подобные симплекс-методу в линейном программировании, которые позволяли бы решать любые

Варианты сочетаний печатных материалов

Вид бумаги	Вариант сочетания материалов	$h_{\phi}$ , мкм	$P$ , %
Мелованная бумага	Horsell-3 PLY Compress-Lumi Silk	4,830	51,77
	Horsell-3 PLY Compress-Bereg Top Silk	4,931	50,70
	Horsell-3 PLY Compress-Union Art	4,985	50,15
	Horsell-3 PLY Compress-Kym Ex Cote Matt	5,002	49,98
	Horsell-3 PLY Compress-Union Silk	5,007	49,93
	Horsell-3 PLY Compress-Bereg Top Gloss	5,078	49,23
	Horsell-3 PLY Compress-Kym Ex Cote	5,333	46,87
	Horsell-3 PLY Compress-Magnomatt Satin	5,398	46,32
	Horsell-3 PLY Compress-Magnostar	5,909	42,31
	Horsell-3 PLY Compress-Lumi Art	9,433	26,50
Офсетная бумага	Horsell-3 PLY Compress-Офсетная №1	4,820	51,86
	Horsell-3 PLY Compress-Кондопогского ЦБК	4,841	51,65
	Horsell-3 PLY Compress-Дата Копи	5,164	48,41
Газетная бумага	Horsell-3 PLY Compress-АО «Волга»	4,757	52,56
	Horsell-3 PLY Compress-Балахнинского ЦБК	4,799	52,10
	Horsell-3 PLY Compress-Цветная. Балахнинского ЦБК	4,843	51,62
Этикеточная бумага	Horsell-3 PLY Compress-Royal Trega	4,901	51,01
	Horsell-3 PLY Compress-Royal Parade M	4,971	50,29
	Horsell-3 PLY Compress-Jamsa Coat	5,045	49,56
Картоны	Horsell-3 PLY Compress-Слонимский, 370 г/м <sup>2</sup>	4,808	52,00
	Horsell-3 PLY Compress-Слонимский, 420 г/м <sup>2</sup>	4,866	51,38
	Horsell-3 PLY Compress-Слонимский, 240 г/м <sup>2</sup>	4,897	51,05
	Horsell-3 PLY Compress-Хром-эрзац мел.	4,936	50,65
	Horsell-3 PLY Compress-Strom-pack	5,009	49,91
	Horsell-3 PLY Compress-Балтика	5,329	46,91

нелинейные задачи. Но, несмотря на отсутствие универсальных методов, разработаны способы решения отдельных специальных классов задач, и прежде всего задач с выпуклыми (вогнутыми) функциями  $f(x)$  и  $\varphi(x)$  [3].

В рассматриваемом случае целевой функцией является само уравнение краскопереноса [1]:

$$P = \frac{\alpha\beta G_{\phi}}{G_{\phi} + \beta G_{\text{офс}} + \alpha\beta G_{\phi\text{с}}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты разделения красочного слоя;  $G$  — количество краски, находящееся в микронеровностях поверхности и определяемое по формуле:

$$G = h_{\text{max}} \left( 1 - \tilde{h}^{2-D_S} \right), \quad (3)$$

где  $h_{\text{max}}$  — высота микронеровностей поверхности материала, мкм;  $\tilde{h}$  — высота микронеровностей поверхности материала в относительных единицах;  $D_S$  — фрактальная размерность поверхности.

На модель накладывается ряд ограничений, связанных с тем, что фрактальная размерность поверхности лежит в диапазоне от 2 до 3:

$$2 \leq D_S \leq 3. \quad (4)$$

Коэффициент краскоперехода ограничен значениями 0% снизу и 100% сверху:

$$0 \leq P \leq 100. \quad (5)$$

Высота микронеровностей на поверхности материала является нормируемой характеристикой и может быть взята по величине среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$  для печатной формы и офсетного полотна. В данной работе использовались усредненные значения, полученные в результате исследования фактических образцов. Высота слоя краски на бумаге взята из технологических соображений и составляет 3 мкм, т. е. такая толщина, при которой обеспечивается на оттиске оптическая плотность 1,5.

Анализ вида ограничений позволяет сказать, что данная задача относится к задачам с линейными ограничениями. Таким образом, область решения будет представлять собой куб и, согласно теории решения задач оптимизации, можно также сказать, что оптимальное решение будет находиться в одной из вершин куба, либо на ребре или грани куба.

Решение математической модели задачи оптимизации в пакете Mathcad дало следующее решение:  $D_{S\phi} = 2,0$ ;  $D_{S\text{оф}} = 2,0$ ;  $D_{S\phi} = 3,0$ ; критерий оптимизации в данном случае равен  $P = 64\%$ , т. е. максимальное значение коэффициента перехода, которое могут обеспечить коэффициенты разделения краски, закладываемые в модель. Анализ решения свидетельствует о необходимости для возможно более полной передачи краски исполь-

ования печатных элементов на форме с практически «плоской» поверхностью, а также «плоского» офсетного полотна.

Для запечатываемой поверхности, наоборот, очевидна необходимость как можно более развитой поверхности. Однако, как показывает практика, ни одно из этих требований не может быть полностью соблюдено в силу недостижимости идеальных значений параметров (или в данном случае предельных значений) и других технологических требований, которые не учитывались в данной модели.

Копировальный слой, из которого состоят печатные элементы на форме, содержит специальные добавки, создающие определенный микро рельеф на его поверхности [4]. Это обусловлено технологией изготовления печатных форм. Микро частицы на поверхности создают определенную шероховатость и таким образом способствуют выходу воздуха при вакуумировании в копировальной раме перед экспонированием, обеспечивая полноту прилегания фотоформы по всей площади формной пластины и, соответственно, качество передачи мелких деталей, штрихов, раstra.

Офсетное резинотканевое полотно также не может иметь абсолютно гладкую поверхность с технологической точки зрения. Помимо функции передачи краски с формы на бумагу, полотно должно обеспечивать и легкость отделения листа бумаги от его поверхности при выходе из зоны контакта. В силу упруго эластических свойств поверхности резины и неоднородности состава по толщине запечатываемого материала возможно возникновение выщипывания волокон целлюлозы с поверхности листа или прилипания и отрыва бумажного полотна.

Для устранения данного явления необходимо обеспечение так называемого эффекта «Квик Релиз» (QR) [4], который характеризует скорость отделения листа от поверхности офсетного полотна в процессе печати и обеспечивает качество воспроизведения растровых элементов и плашек на оттиске. Резинотканевые пластины, обладающие данным эффектом, реализуют легкое отделение поверхности запечатываемого материала от поверхности офсетного полотна в процессе печатания. Например, мелованная бумага отделяется быстрее от пластины с шероховатой поверхностью, чем от пластины с гладкой поверхностью. Эффект закладывается в процессе изготовления резинотканевых полотен путем введения в поверхностный слой специальных добавок и на стадии шлифования рабочей поверхности полотна [4].

В то же время поверхность резинотканевого полотна не должна быть чрезмерно шероховатой, что продемонстрировали и расчеты по модели краскопереноса. Чем меньше неровностей на верхнем слое офсетного полотна, тем меньше искажается изображение при передаче с печатной формы на бумагу.

Кроме того, микро рельеф на поверхности офсетного полотна оказывает влияние и на полноту восприятия краски с печатной формы. Если рассматривать процесс передачи краски в офсете поэтапно, то на первой стадии — переходе краски с печатной формы на офсетное полотно — получим оптимальные значения переменных;  $D_{Sф} = 2,0$ ;  $D_{Sоф} = 3,0$ ; на второй стадии — переходе краски с офсетного полотна на бумагу —  $D_{Sоф} = 2,0$ ;  $D_{Sб} = 3,0$ . В полученном ранее решении превалирует второй этап, поэтому получено оптимальное значение  $D_{Sоф} = 2,0$ . В то же время противоречия в требованиях к поверхности офсетного полотна существуют и сохраняются.

Величина фрактальной размерности запечатываемой поверхности  $D_{Sб} = 3,0$  говорит о том, что бумага либо картон должны иметь предельно «развитую» поверхность. Существуют материалы, имеющие фрактальную размерность поверхности порядка 2,7–2,8, однако такая величина показателя характерна для газетного вида бумаги. И хотя он является наиболее краскоемким, как показывают исследования и практика, его использование крайне ограничено из-за требований, предъявляемых к качеству печатной продукции. Высококачественную продукцию (журналы, репродукции, каталоги и т. д.) печатают, как правило, на мелованной бумаге, имсущей технологические свойства, позволяющие наиболее полно и верно воспроизводить детали и цвета, градации изображения, несмотря на то, что данный вид бумаги наименее краскоемок. Показатели фрактальной размерности мелованной бумаги лежат в пределах от 2,2 до 2,4.

Определенный интерес представляет также исследование изменения коэффициента краскоперехода при изменении одного из показателей фрактальной размерности и фиксации других значений на усредненной характеристике  $D_s = 2,5$ . В результате расчетов по формуле (2) была получена следующая таблица значений (табл. 2).

Таблица 2  
Изменение коэффициента краскопереноса

$D_s$	$P(D_{Sф}), \%$	$P(D_{Sоф}), \%$	$P(D_{Sб}), \%$
2,0	28,03	63,32	0,00
2,1	28,00	42,90	14,26
2,2	27,98	35,19	20,85
2,3	27,95	31,37	24,44
2,4	27,93	29,21	26,57
2,5	27,90	27,90	27,90
2,6	27,88	27,08	28,76
2,7	27,86	26,55	29,33
2,8	27,84	26,20	29,71
2,9	27,82	25,97	29,96
3,0	27,80	25,81	30,13

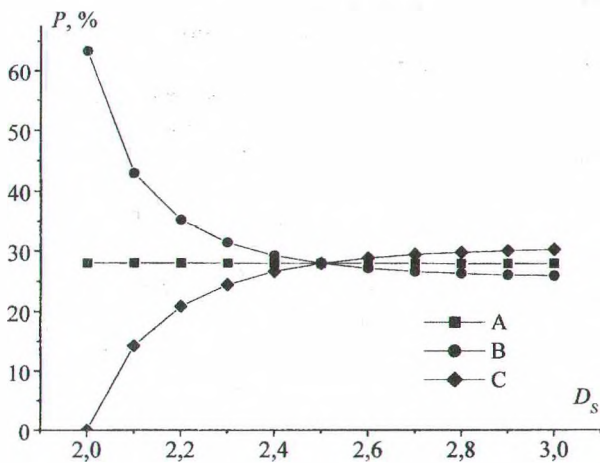


Рисунок. Зависимость коэффициента перехода краски в офсете от величины поверхностной фрактальной размерности: А — зависимость  $P(D_{Sф})$ ; В — зависимость  $P(D_{Sоф})$ ; С — зависимость  $P(D_{Sб})$

Для более наглядного представления данных построены графические зависимости коэффициентов перехода от величины поверхностной фрактальной размерности печатных материалов.

Анализируя графические зависимости и табличные данные, следует отметить значительность влияния фрактальных размерностей офсетного полотна и бумаги на изменение коэффициента перехода краски и отсутствие заметного влияния для показателя фрактальной размерности печатной формы, что отмечалось и подробно анализировалось в ходе исследований образцов печатных материалов [2].

При анализе зависимостей в [2] отмечалось, что смена формной пластины в целом на процесс печати оказывает незначительное воздействие, полученные значения коэффициента краскопереноса различаются на 1–2%. Данный результат является логичным следствием того, что шероховатость формных пластин на порядок ниже по сравнению с шероховатостью офсетного полотна и бумаги.

Однако при рассмотрении процесса перехода краски с печатной формы на офсетное полотно разница в значениях коэффициента краскопереноса составляла 3–5% [2]. Данный факт свидетельствует о том, что микрогеометрия поверхности печатной формы существенна на первом этапе процесса краскопереноса. В ходе второго перехода краски этот эффект «гасится» за счет превосходящих микронеровностей офсетного полотна и бумаги и не оказывает заметного влияния на конечный результат.

Смена офсетного полотна или изменение его свойств не оказывает заметного влияния на перенос краски с печатных элементов печатной формы на поверхность офсетного полотна. Од-

нако различия при печати с нового и отработанного офсетных полотен очевидны [2]. Таким образом поверхностные свойства в большей степени оказывают влияние на отдачу краски, а не на ее восприятие. Выбор другой марки офсетного полотна или его износ не определяет качество передачи краски на первом этапе печатного процесса, однако он существенен для конечного результата.

Анализ зависимостей, полученных в [2] для образцов офсетных полотен, показал, что в зависимости от вида полотна и его поверхностных свойств коэффициент краскопереноса может принимать значения от 20% до 60%, а при износе поверхности офсетного полотна он снижается на 10%. Очевидна значимость влияния поверхностных характеристик промежуточного звена на результат процесса печати. Однако выбор офсетного полотна, как правило, определяется видом запечатываемого материала.

По результатам исследований [2] было выявлено, что диапазон изменения коэффициента краскопереноса при рассмотрении различных видов бумаги составляет в среднем 10,5%. Изучение с помощью модели краскопереноса в офсете образцов глянцевой и матовой мелованной бумаги демонстрирует изменение коэффициента на 25% [2]. Исследование реальных материалов подтверждает результаты теоретических исследований модели переноса краски.

Решение задачи «классической» оптимизации подтверждает результаты, полученные ранее, и не противоречит практике, однако использование полученного решения в полной мере в настоящее время затруднено в силу технологических особенностей протекания процесса офсетной печати и требований, предъявляемых к качеству печатных материалов и печатной продукции, в то же время оно является ценным с точки зрения научных подходов в исследовании процесса печати.

## Литература

1. Медяк Д. М. Структурный метод баланса краски в офсетной технологии печати // Вестник издательско-полиграфического комплекса Беларуси. — Минск, 2003. — № 1. — С. 91–96.
2. Медяк Д. М. Интегрированная оценка и совершенствование технологического процесса офсетной печати на основе метода баланса краски. — Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. — Мн., 2005. — 184 с.
3. Кузнецов А. В., Сакович В. А., Холлод Н. И. Высшая математика. Математическое программирование. — Мн.: Вышэйшая школа, 1994. — 288 с.
4. Марогулова Н. Н., Стефанов С. И. Расходные материалы для офсетной печати. — М.: Русский университет, 2002. — 240 с.