

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДАЦИОННЫХ КРИВЫХ ОТТИСКА НА ОФСЕТНОЙ И МЕЛОВАННОЙ БУМАГЕ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНОЙ МАССЕ

Article is devoted the study of influence relative area of raster point, type a paper and its mass on absorbance by means of statistical methods.

Для оценки качества печатных оттисков предложено несколько методов [1, 2, 3], в частности информационный подход [4], который позволяет рассчитывать количество информации на единице площади и градационную характеристику печатного процесса (величину оптической плотности растрового элемента на оттиске).

От оригинала до печатного оттиска изображительная информация преобразуется в соответствии с этапами обработки, переходя из одного носителя информации на другой. Цель управления процессом передачи градаций от оригинала до печатного оттиска в целом заключается в формировании заранее заданной градационной кривой печатного оттиска, которая обеспечивала бы надежное получение репродукции высокого качества. Известно, что передача градаций в печатном процессе, например в офсетной или флексографской печати, связана с увеличением размеров растровых точек на печатном оттиске по сравнению с печатной формой. Эта связь описывается градационной кривой печатного процесса.

Градационная кривая печатного процесса, по мнению [4], должна занимать промежуточное положение между идеальной и допустимой градационными кривыми.

Идеальная градационная кривая строится на основе теоретического распределения оптической плотности D элементов объекта, которая вычисляется по формуле

$$D = -\lg(\rho_6 - \rho_{кр}), \quad (1)$$

где ρ_6 — коэффициент отражения бумаги; $\rho_{кр}$ — коэффициент отражения краски.

Допустимое значение этой плотности рассчитывается с учетом растискивания в печатном процессе при ширине ореола растискивания 0,005 мм.

Однако, как известно, оптическая плотность зависит не только от вида градационной кривой, но и от многих других факторов, в частности от относительной площади растровой точки, вида бумаги, ее массы и т. д.

В связи с этим в данной работе исследовано влияние указанных факторов на оптическую плотность с помощью статистических методов планирования эксперимента.

В первой серии опытов проводилось исследование влияния вида градационных кривых (x_1) и процентной величины растровой точки

(x_2) на оптическую плотность (y_1) отпечатка на офсетной бумаге с массой 80 г/м². Для проведения эксперимента был выбран план 3×3, где 3 — три уровня градационной кривой (A, B, C) и три уровня процента растровой точки (10, 50 и 90%). Ошибку воспроизводимости опытов S_1 определяли по результатам 9 параллельных опытов при нулевых уровнях факторов x_1 и x_2 . Она равнялась 0,018.

Матрица плана 3×3 и результаты измерений оптической плотности приведены в табл. 1, где x_1 и x_2 — кодированные уровни вида градационных кривых ($x_1 = -1$, вид A; $x_1 = 0$, вид B; $x_1 = +1$, вид C; $x_2 = -1$, 10%; $x_2 = 0$, 50%; $x_2 = +1$, 90%), N — число опытов.

Кодирование уровня относительной площади растровой точки проводили по формуле (2) [5]. Кодирование качественного фактора (x_1 , вид градационной кривой) осуществляли произвольно. Выбор плана основан на гипотезе о том, что связи между параметром оптимизации ($y_1 = D$) и факторами (x_1 и x_2) нелинейная и может быть представлена в виде полинома второго порядка.

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - 0,5(\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min})}{0,5(\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min})}, \quad (2)$$

где x_i — кодированный уровень i -го фактора; $\tilde{x}_i, \tilde{x}_{i\max}, \tilde{x}_{i\min}$ — текущее, максимальное и минимальное значения i -го фактора.

Во избежание влияния систематических ошибок опыты проводили в случайном порядке.

Статистическую обработку результатов эксперимента осуществляли по методике [6].

Значения коэффициентов регрессии определяли по формулам (3).

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= a_0(0y) - \sum a_{0i}(iyy), \\ b_i &= a_i(iy), \\ b_{ij} &= a_{ij}(ijy), \\ b_{ii} &= a_{ii}(iyy) - a_{0i}(0y), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — коэффициенты уравнения; $a_0, a_{01}, a_{02}, a_i, a_{ij}, a_{ii}$ — коэффициенты из таблицы 2.19 [5]; $(0y), (iy), (ijy),$ и (iyy) — алгебраические суммы произведений столбца $y_i(0y)$ матрицы на соответствующие столбцы (в табл. 2 Σ_1 и Σ_2).

В результате получили уравнение (4), устанавливающее количественную связь между плотностью и указанными факторами.

Матрица плана 3x3 и результаты измерений D

№ п/п	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	y_1	Примечание
1	-1	-1	+1	+1	+1	0,057	Вид А
2	-1	0	0	+1	0	0,229	
3	-1	+1	-1	+1	+1	0,657	
4	0	-1	0	0	+1	0,057	Вид В
5	0	0	0	0	0	0,231	
6	0	+1	0	0	+1	0,686	
7	+1	-1	-1	+1	+1	0,071	Вид С
8	+1	0	0	+1	0	0,400	
9	+1	+1	+1	+1	+1	0,857	
Σ_1	0,385	2,015	0,186	2,271	2,385	3,245	
Шифр	(1y)	(2y)	(12y)	(11y)	(22y)	(0y)'	

$$y_1 = 0,2508 + 0,0642x_1 + 0,3358x_2 + 0,0465x_1x_2 + 0,054x_1^2 + 0,1109x_2^2 \quad (4)$$

Значимость коэффициентов уравнения (4) определяли путем сравнения их абсолютной величины с доверительными интервалами для каждой группы коэффициентов по формулам (5).

$$\left. \begin{aligned} \Delta b_0 &= \pm t \cdot S \sqrt{a_0}, \\ \Delta b_i &= \pm t \cdot S \sqrt{a_i}, \\ \Delta b_{ij} &= \pm t \cdot S \sqrt{a_{ij}}, \\ \Delta b_{ii} &= \pm t \cdot S \sqrt{a_{ii}}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где t — табличные значения критерия Стьюдента при заданном уровне доверия (значимости) α и степени свободы $f = N - 1$; S — ошибка воспроизводимости. В нашем случае $\Delta b_0 = 0,0304$; $\Delta b_1 = \Delta b_2 = 0,016$; $\Delta b_{12} = 0,0204$; $\Delta b_{11} = \Delta b_{22} = 0,029$. Следовательно, все коэффициенты значимы, так как их абсолютные значения больше их доверительных интервалов.

Проверку адекватности уравнения производили путем расчета критерия Фишера $F = S_{ад}^2 / S_y^2$ (S_y^2 — дисперсия параметра оптимизации y ; $S_{ад}^2$ — дисперсия адекватности, возникающая вследствие различия экспериментальных и расчетных величин параметра оптимизации).

Дисперсию адекватности $S_{ад}^2$ находили по формуле (6).

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta y_n^2}{N - m}, \quad (6)$$

где m — число значимых коэффициентов в уравнении; N — число опытов; $\Delta y_n = y_n - y_p$ — разность между экспериментальным и расчетным значениями параметра оптимизации.

В нашем случае $S_{ад}^2 = 1,2 \cdot 10^{-3}$, $S_y^2 = 0,0182$, $F_p = 3,715$, что меньше $F_{кр} = 4,07$, т. е. уравнение адекватно описывает факторное пространство.

Предварительный анализ уравнения показывает, что для офсетной бумаги массой 80 г/м² наибольшее влияние на оптическую плотность оказывает относительная площадь растровой точки, влияние вида градационной кривой в несколько раз меньше.

При $x_1 = -1$ $y_1 = 0,2406 + 0,2893x_2 + 0,1109x_2^2$ (кривая А). Это парабола с точкой перегиба $x_2 = -1,304$ (за пределами эксперимента), в которой расчетное значение $D = 0,0519$.

При $x_1 = 0$ $y_1 = 0,2508 + 0,3358x_2 + 0,1109x_2^2$ (кривая В). Это парабола с точкой перегиба $x_2 = -1,514$, в которой расчетное значение $D = 0,04854$.

При $x_1 = +1$ $y_1 = 0,369 + 0,3823x_2 + 0,1109x_2^2$ (кривая С). Это парабола с точкой перегиба $x_2 = -1,7236$, в которой расчетное значение $D = 0,0395$. Таким образом, градационная кривая С обеспечивает более высокую плотность.

Анализ этих зависимостей показывает, что положения идеальной (кривая А) и допустимой (кривая В) градационных кривых мало отличаются друг от друга.

Градационная кривая по измеренным значениям оптической плотности (кривая С) находится выше положения допустимой и идеальной кривой, что свидетельствует о значительном избытке краски в печатном процессе.

В следующей серии опытов исследовалось влияние трех факторов (вида градационных кривых, относительной площади растровой точки, массы бумаги) на оптическую плотность мелованной бумаги ($y_2 = D$).

Для проведения эксперимента был выбран некомпозиционный план Бокса — Бенкина [5], матрица которого и результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Этот план представляет собой выборку строк из полного факторного эксперимента типа $N = 3^k$ (k — количество факторов).

Достоинствами этого плана являются:

- 1) всего три уровня факторов;
- 2) большое количество нулей упрощает вычисление;

Матрица плана Бокса – Бенкина

№ п/п	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y_2
1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0	0,122
2	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	0,085
3	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0	0,915
4	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	1,612
5	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	0,232
6	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0,680
7	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	0,300
8	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0,512
9	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	0,044
10	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	1,220
11	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	0,066
12	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1	1,028
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,288
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,330
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,372
Σ	1,32	4,572	-0,244	0,734	-0,236	-0,12	4,458	5,098	4,088	7,812

3) меньше опытов по сравнению с другими планами второго порядка.

В качестве параметра оптимизации была выбрана, как и раньше, оптическая плотность ($y_2 = D$), а в качестве факторов: вид градиционных кривых, относительная площадь растровой точки (x_2) и масса бумаги (130, 185, 240 г/м²). Ошибка воспроизводимости опытов S_2 и дисперсия оптической плотности S_2^2 определялись по результатам трех параллельных опытов при нулевых уровнях факторов. Оценка проводилась в случайном порядке.

В табл. 2 x_1 , x_2 и x_3 — кодированные уровни факторов, определяемые по формуле (2), N — число опытов.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили по формулам (7).

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N y_{0n},$$

$$b_i = A \sum_{n=1}^N x_{in} y_n,$$

$$b_{ij} = D \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} y_n, \quad (7)$$

$$b_{ii} = B \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n + C \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n - \frac{\sum_{n=1}^{n_0} y_{0n}}{n_0 p},$$

где n_0 — число опытов на нулевом уровне; k — число факторов; n — номер опыта; коэффициенты A , B , C и p берутся из таблиц [5]. Для $k = 3$: $A = 1/8$, $B = 1/4$, $C = -1/16$, $D = 1/4$, $p = 2$.

В результате расчетов получено уравнение (8).

Значимость коэффициентов уравнения определяли путем сравнения доверительных интервалов для каждой группы коэффициентов с

абсолютными значениями самих коэффициентов.

$$y_1 = 0,330 = 0,165x_1 + 0,572x_2 - 0,330x_3 + 0,184x_1x_2 - 0,059x_1x_3 + 0,179x_1^2 + 0,339x_2^2 + 0,088x_3^2. \quad (8)$$

Для нахождения доверительных интервалов сначала определяли дисперсии коэффициентов по формулам (9).

При $t = 2,13$ $\Delta b_0 = 0,0283$; $\Delta b_i = 0,0173$; $\Delta b_{ij} = 0,0245$; $\Delta b_{ii} = 0,0283$.

$$S_{b_0}^2 = \frac{S_y^2}{n_0},$$

$$S_{b_i}^2 = A \cdot S_y^2,$$

$$S_{b_{ij}}^2 = D \cdot S_y^2, \quad (9)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = \left(B + \frac{1}{p^2 n} \right) S_y^2.$$

Следовательно, все коэффициенты уравнения (8) значимы.

Адекватность уравнения проверяли по критерию Фишера. Дисперсии адекватности находили по формуле (10).

$$S_{ад} = \frac{SS_{ост} - SS_y}{N - m - (n_0 - 1)}, \quad (10)$$

где m — число значимых коэффициентов;

$$SS_{ост} = \sum_{n=1}^N (y_{np} - y_{n3})^2, \quad SS_y = \sum_{n=1}^N (y_{0n} - \bar{y}_0)^2;$$

y_{np} — расчетное значение параметра оптимизации (плотности) в n -й строке; y_{n3} — экспериментальное значение его в n -й строке.

В нашем эксперименте $S_{ад}^2 = 8,97 \cdot 10^{-3}$, а $F_p = 5,0354$, что меньше табличного. Следовательно, уравнение адекватно описывает факторное пространство.

Анализ уравнения показывает, что и в этом случае наибольшее влияние на оптическую плотность оказывает относительная площадь растровой точки. Влияние вида градационных кривых, так как и массы бумаги, меньше.

Максимальная величина плотности получена при градационной кривой С, относительной площади растровой точки 90% и массе бумаги 185 г/м^2 .

Сравнение величин оптической плотности офсетной и мелованной бумаги показывает, что в последнем случае она значительно выше, особенно бумаги массой 130 г/м^2 . Это позволяет передавать более глубокие тени.

В обоих случаях градационные кривые, построенные по измеренным значениям оптической плотности, лежат выше допустимых. Следовательно, при печати на мелованной бумаге массой 130 г/м^2 и 240 г/м^2 необходима повышенная подача краски.

Вид полученных градационных кривых и уравнений имеет общую закономерность, большее влияние относительной площади растровой точки.

Таким образом, информационная емкость типографских оттисков различна в зависимости от факторов, влияющих на оптическую плот-

ность. Для печати на газетной бумаге ее значение меньше, на мелованной — больше.

Литература

1. Кулак, М. И. Оценка информационной емкости элементов защиты полиграфической продукции / М. И. Кулак, Ю. Ю. Русова // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. — 2005. — Вып. XIII. — С. 44–47.
2. Громыко, И. Г. Качество и информационная емкость оттисков, полученных на лазерных принтерах / И. Г. Громыко, Ю. Ю. Русова // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. — 2005. — Вып. XIII. — С. 59–63.
3. Айриг, С. Подготовка цифровых изображений для печати / С. Айриг, Э. Айриг. — Минск: ООО «Попурри», 1997. — 192 с.
4. Громыко, И. Г. Применение информационного подхода для оценки качества печатных оттисков / И. Г. Громыко, Ю. Ю. Русова // Труды БГТУ, Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. — 2006. — Вып. XIV. — С. 64–67.
5. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие / И. М. Жарский, Б. А. Каледин, И. Ф. Кузьмицкий. — Минск: БГТУ, 2003. — 184 с.
6. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. — Москва: Статистика, 1981. — 264 с.