

УДК 004.65(075.8)

Каледина Н. Б., старший преподаватель

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕПРОДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Article is denoted the estimation accuracy of reproduction the line image in system «scanner – imagesetter», separation of dependence of different parameters of process on tinned result.

**Введение.** Для высокого качества репродукции важна не только точность воспроизведения цвета, но и точность воспроизведения деталей изображения.

Под деталями изображения, как правило, подразумевают штриховые элементы. На процесс воспроизведения таких элементов влияет множество факторов (разрешения считывания и вывода, масштаб, качество считывающей системы, экспозиция, время записи, светочувствительность фотоматериала и т. д.). Результаты зависят и от размеров, геометрического положения штриха относительно системы записи – считывания [1].

**Основная часть.** Для оценки воздействия параметров ввода и вывода на качество проработки мелких деталей и определения влияния различных стадий процесса на конечный результат разработана методика на основе метода функции передачи модуляции (ФПМ) [2].

Для оценки параметров компьютерной издательской системы целесообразно рассчитывать ФПМ системы и ее отдельных звеньев по экспериментально полученным краевым функциям при использовании тест-объекта с прямоугольным распределением интенсивности излучения, так как построение теста с синусоидально меняющейся плотностью затруднительно.

Для экспериментальной проверки такого подхода был использован тест-объект, представляющий собой 11 групп периодически повторяющихся наборов штрихов. Ширина периода, состоящего из равных по величине штриха и просвета, увеличивается, начиная от 25 мкм в геометрической прогрессии с коэффициентом, равным  $\sqrt{2}$ . Сканирование тест-объекта проводилось на планшетном сканере NextScan F4100 при постоянном разрешении  $R_c = 1693$  ppi и переменных параметрах:

- порог бинаризации: 0–100% с шагом через 10%;
- функция сканирования: Excellent, Good.

Краевая функция была построена на основе методики оценки ФПМ фотографических материалов растровым методом [3] с тем отличием, что аналогом краевой функции может служить связь порога бинаризации и ширины штриха.

Ширина штриха на этапе ввода оценивалась с применением программы Photoshop 8.0 на изображениях, которые были отсканированы без обработки.

В качестве переменных факторов при этих измерениях принимались:

- вид функции сканирования  $x_1$ ;
- уширение штриха  $x_2$ , мкм (разница между шириной штриха на оригинале и в цифровом файле);
- частота  $x_3$ ,  $\text{мм}^{-1}$ .

Для проведения эксперимента на первом этапе использован план эксперимента  $2 \times 3$ , где 2 — два вида функции сканирования, а 3 — три уровня уширения штриха или частоты.

Ошибки воспроизводимости опытов определялись по результатам шести параллельных опытов при уширении штриха 30 мкм и частоте  $18 \text{ мм}^{-1}$ . Они соответственно были равны 4% и  $0,041 \text{ мм}^{-1}$ .

План этих экспериментов и результаты наблюдений приведены в табл. 1, где  $x_1$  и  $x_2$  — кодированные уровни факторов, определяемые по формуле

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - 0,5(\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min})}{0,5(\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min})}, \quad (1)$$

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.

В качестве функции оптимизации взяты величины порога бинаризации ( $y_1$  и  $y_2$ ).

Для качественного фактора были установлены уровни:  $x_1 = -1$ , ФПМ для функции сканирования Excellent;  $x_2 = +1$ , ФПМ для функции сканирования Good. Уширение штриха было установлено на трех уровнях: 0; 30 и 60 мкм.

Опыты проводились в случайном порядке во избежание влияния систематических ошибок.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили по методике работы [4]. В результате расчетов было получено уравнение регрессии в виде полинома второго порядка

$$y_1 = 93 - 1,2x_1 + 25x_2 - 18x_2^2. \quad (2)$$

Матрица плана 2×3 и результаты опытов

$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_2^2$	$y_1$	$y_2$
-1	-1	+1	+1	50,0	0,50
-1	0	0	0	96,4	7,14
-1	+1	-1	+1	100,0	50,00
+1	-1	-1	+1	50,0	1,00
+1	0	0	0	89,3	10,71
+1	+1	+1	+1	100,0	50,00
$\Sigma$					
-7,1	100	0	101,5	485,7	119,3

Значимость коэффициентов этого уравнения определили путем сравнения их абсолютных значений с доверительными интервалами. В результате получили, что второй коэффициент незначим. Таким образом, уравнение примет вид

$$y_1 = 93 + 25x_2 - 18x_2^2. \quad (3)$$

По критерию Фишера  $F = S_{ад}^2/S_y^2$ , где  $S_y^2$  — дисперсия параметра оптимизации  $y$ ,  $S_{ад}^2$  — дисперсия адекватности, возникающая вследствие различия экспериментальных и расчетных величин параметра оптимизации, была доказана адекватность этого уравнения.

Анализ уравнения показывает, что функции сканирования не влияют на параметр оптимизации, определяющим фактором является уширение штриха. С его увеличением растут и  $y_1$ .

Если уширение штриха изменять от 0 до -60 мкм ( $x_2 = -60; -30; 0$ ), то получим значения, приведенные в столбце  $y_2$  в табл. 1. Ошибка воспроизводимости в этом эксперименте составляет 1%. После обработки результатов эксперимента и проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии, приведенные по указанной выше методике, получена адекватная модель

$$y_2 = 8,9 + 24,6x_2 + 16,5x_2^2. \quad (4)$$

Из этого уравнения также видно, что вид функции сканирования не влияет на параметр оптимизации, главным фактором остается уширение штриха. Максимальное значение  $y_2 = 50\%$  получен при уширении 0 мкм. Минимальное значение составляет 0,5% при уширении штриха -60 мкм.

При исследовании краевых функций эксперименты проводились по тому же плану 2×3, где 2 — два вида функции сканирования, а 3 — три уровня уширения штриха, или частоты. В качестве параметра оптимизации была взята величина краевой функции ( $y_3$  и  $y_4$ ).

Ошибки воспроизводимости составили соответственно  $S_3 = 0,041$  и  $S_4 = 0,01$ .

Матрица плана 2×3 и результаты эксперимента представлены в табл. 2.

После статистической обработки результатов этих экспериментов по той же методике [4] и проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии получены адекватные модели ( $F_3 < 1$ ;  $F_4 = 6,2 < 12,1$  при  $\alpha = 0,01, f_1 = 3$  и  $f_2 = 5$ )

$$\begin{aligned} y_3 &= 0,945 + 0,25x_2 - 0,195x_2^2; \\ y_4 &= 0,100 - 0,243x_2 + 0,158x_2^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Анализ этих уравнений показывает, что и в этих случаях вид функции сканирования не влияет на величину краевой функции.

Наибольшее влияние на этот параметр оптимизации оказывает уширение штрихов в файле. Правда, характер влияния этого фактора различен: максимальная величина  $y_3 \approx 1,0$  получена при  $x_2 = +1$  (уширение штрихов 60 мкм), а максимальная величина  $y_4 = 0,5$  получена при  $x_2 = -1$  (уширение 0 мкм). Анализ табл. 1 и 2 также показывает, что между краевой функцией и порогом бинаризации существует тесная корреляционная связь, так как коэффициент парной корреляции  $r_{1,3} = 1,00$ .

Таблица 2

Матрица плана 2×3 и результаты опытов

$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_2^2$	$y_3$	$y_4$
-1	-1	+1	+1	0,50	0,50
-1	0	0	0	0,97	0,07
-1	+1	-1	+1	1,00	0,01
+1	-1	-1	+1	0,50	0,50
+1	0	0	0	0,92	0,13
+1	+1	+1	+1	1,00	0,02
$\Sigma_3$					
-0,05	1,00	0	3	4,89	—
$\Sigma_4$					
0,07	-0,97	0,01	1,03	—	1,23

Эта связь может быть представлена в виде

$$y_3 = 0,01y_1 - 0,003. \quad (6)$$

Таким образом, для изотропных систем с симметричной функцией размытия точка симметрии краевой функции имеет координаты (0; 0,5).

Для оценки влияния функции сканирования  $x_1$  и частоты  $x_3$  изображения на его воспроизведение  $y_5$  по плану  $2 \times 3$  был проведен эксперимент, результаты которого приведены в табл. 3.

В табл. 3  $x_1$  и  $x_3$  — кодированные уровни сканирования и частоты (5, 18, 30  $\text{мм}^{-1}$ ), а  $y_5$  — ФПМ звена сканирования.

Ошибка воспроизводимости опытов составляет 0,0205 ( $S_5 = 0,0205$ ).

После статистической обработки результатов этого эксперимента и проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии получена адекватная модель ( $F_p = 1,67 < F_{кр} = 5,79$  при  $\alpha = 0,05$ ;  $f_1 = 2$ ;  $f_2 = 5$ ) в виде полинома второго порядка

$$y_5 = 0,24 - 0,04x_1 - 0,43x_3 + 0,26x_3^2. \quad (7)$$

Анализ этого уравнения показывает, что наибольшее влияние на исследуемый параметр оптимизации оказывает частота, влияние вида ФПМ существенно меньше. Максимальная величина  $y_5 = 0,97$  получена при  $x_1 = -1$  и  $x_3 = -1$ , т. е. при ФПМ Excellent и частоте 5  $\text{мм}^{-1}$ . Минимальная величина  $y_5 = 0,03$  получены при  $x_1 = +1$  и  $x_3 = +1$ , т. е. при ФПМ Good и частоте 30  $\text{мм}^{-1}$ .

Таким образом, для вышеприведенных условий ФПМ сканирующего звена имеет более высокие значения в режиме Excellent.

Методика определения ФПМ выводного звена обрабатывалась на фотовыводном устройстве Primesetter 74. При записи использовалась разрешающая способность  $R_B = 3386 \text{ dpi}$  и переменная интенсивность лазерного излучения, составлявшая 8609, 13 122, 18 000  $\text{мДж/м}^2$ . Тест-объект располагался так, что направление штриха соответствовало направлению сканирования вывода. Это же условие соблюдалось при сканировании при входе. Ширина штриха измерялась на фотоформах.

В табл. 3 приведены результаты эксперимента, проведенного по плану  $2 \times 3$ , устанавливающего связь краевых функций ( $y_6$ ) с функ-

циями сканирования  $x_1 = -1$ , Excellent,  $x_1 = +1$ , Good, и уширением штриха  $x_2 = -1$ , что соответствует 0  $\text{мкм}$ ,  $x_2 = +1$ , — 60  $\text{мкм}$ . Ошибка воспроизводимости опытов  $S_6 = 0,04$ .

После обработки результатов этого эксперимента и проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии получена адекватная модель в виде параболы

$$y_6 = 0,895 + 0,245x_2 - 0,15x_2^2. \quad (8)$$

Из этого уравнения видно, что на параметр оптимизации оказывает влияние только уширение штриха, вид ФПМ не оказывает влияния.

Максимальная величина  $y_6 = 1,0$  получена при  $x_1 = -1$  и  $x_2 = +1$ , т. е. при ФПМ Excellent и уширении штриха 60  $\text{мкм}$ .

Минимальная величина 0,5 получена при  $x_1 = \pm 1$  и  $x_2 = -1$ , т. е. для любой ФПМ и уширения штриха 0  $\text{мкм}$ .

Для сопоставления ФПМ сканирующего звена и ФПМ фотовывода при различных частотах был проведен эксперимент по плану  $3 \times 6$ , где 3 — три уровня частоты (5, 18, 30  $\text{мм}^{-1}$ ), а 6 — шесть уровней ФПМ ( $x_1 = -1$ , ФПМ звена сканирования при функции сканирования Excellent;  $x_1 = -3/5$ , ФПМ системы сканер – фотовыводное устройство при функции сканирования Excellent;  $x_1 = -1/5$ , ФПМ звена фотовывода при функции сканирования Excellent;  $x_1 = +1/5$ , ФПМ звена сканирования при функции сканирования Good;  $x_1 = +3/5$ , ФПМ системы сканер – фотовыводное устройство при функции сканирования Good;  $x_1 = +1$ , ФПМ звена фотовывода при функции сканирования Good). Ошибка воспроизводимости опытов равна в данном случае 0,0205 ( $S_7 = 0,0205$ ).

В качестве параметра оптимизации  $y_7$  была выбрана кривая функция  $E$  в относительных единицах. опыты проводились в случайном порядке. Матрица плана и результаты опытов приведены в табл. 4 ( $x_1$  — вид ФПМ,  $x_2$  — частота).

Статистическую обработку проводили по методике [4]. После расчетов коэффициентов уравнения и проверки их значимости получили адекватную модель ( $F_p = 2,3 < F_{кр} = 3,52$  при  $\alpha = 0,01$ ;  $f_1 = 12$  и  $f_2 = 17$ ) в виде полинома второго порядка.

Таблица 3

Матрица плана  $2 \times 3$  и результаты опытов

$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_2^2$	$y_5$	$y_6$
-1	-1	+1	+1	0,95	0,50
-1	0	0	0	0,30	0,52
-1	+1	-1	+1	0,10	1,00
+1	-1	-1	+1	0,90	0,50
+1	0	0	0	0,18	0,87
+1	+1	+1	+1	0,03	0,98

Матрица плана 3×6 и результаты опытов

$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$y_7$
-1	-1	+1	1	+1	0,73
-3/5	-1	+3/5	9/25	+1	0,75
-1/5	-1	+1/5	1/25	+1	0,84
+1/5	-1	-1/5	1/25	+1	0,92
+3/5	-1	-3/5	9/25	+1	0,98
+1	-1	-1	1	+1	1,00
-1	0	0	1	0	0,22
-3/5	0	0	9/25	0	0,28
-1/5	0	0	1/25	0	0,35
+1/5	0	0	1/25	0	0,43
+3/5	0	0	9/25	0	0,55
+1	0	0	1	0	0,67
-1	+1	-1	1	+1	0,04
-3/5	+1	-3/5	9/25	+1	0,04
-1/5	+1	-1/5	1/25	+1	0,11
+1/5	+1	+1/5	1/25	+1	0,22
+3/5	+1	+3/5	9/25	+1	0,34
+1	+1	+1	1	+1	0,47

Уравнение полинома имеет следующий вид:

$$y_7 = 0,396 - 0,2x_1 - 0,333x_2 + 0,037x_1x_2 + 0,045x_1^2 + 0,12x_2^2. \quad (9)$$

Анализ этого уравнения показывает, что наибольшее влияние в этом случае оказывает частота. Влияние вида ФПМ — меньше. Максимальная величина параметра оптимизации получена при ФПМ звена фотовывода при функции сканирования Good и частоте  $5 \text{ мм}^{-1}$ . Минимальное значение 0,04 получено при ФПМ звена сканирования при функции сканирования Excellent и частоте  $30 \text{ мм}^{-1}$ .

Подставляя в уравнение (9) соответствующие уровни для различных ФПМ, получим систему уравнений, устанавливающих связь  $y$  с частотой.

При  $x_1 = -1$  (ФПМ звена сканирования при функции Excellent)

$$y_7 = 0,241 - 0,37x_2 + 0,12x_2^2. \quad (10)$$

При  $x_1 = -3/5$  (ФПМ системы сканер – фотовыводное устройство при функции сканирования Excellent)

$$y_7 = 0,292 - 0,355x_2 + 0,12x_2^2. \quad (11)$$

При  $x_1 = -1/5$  (ФПМ звена фотовывода при функции сканирования Excellent)

$$y_7 = 0,358 - 0,34x_2 + 0,12x_2^2. \quad (12)$$

При  $x_1 = +1/5$  (ФПМ звена сканирования при функции сканирования Good)

$$y_7 = 0,438 - 0,326x_2 + 0,12x_2^2. \quad (13)$$

При  $x_1 = +3/5$  (ФПМ системы сканер – фотовыводное устройство при функции сканирования Good)

$$y_7 = 0,532 - 0,311x_2 + 0,12x_2^2. \quad (14)$$

При  $x_1 = +1$  (ФПМ звена фотовывода при функции сканирования Good)

$$y_7 = 0,641 - 0,296x_2 + 0,12x_2^2. \quad (15)$$

**Заключение.** Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что метод ФПМ дает возможность объективно оценить качество системы, в частности точность воспроизведения штрихового изображения, выделить влияние различных факторов процесса на различные параметры этого процесса.

#### Литература

1. Оценка параметров репродукционной системы «сканер – фотовыводное устройство» / Ю. С. Андреев [и др.] // Полиграфия. – 2006. – № 5. – С. 86–87.
2. Фризер, Х. Фотографическая регистрация информации / Х. Фризер. – М.: Мир, 1978. – 253 с.
3. Андреев, Ю. С. Исследование растровых методов оценки фотографических материалов для штриховой репродукции / Ю. С. Андреев, И. Н. Алексеев, Г. Ф. Немых // Сб. научн. тр. ГНИИХФП. – М., 1975. – С. 83–87.
4. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1981. – 264 с.

Поступила 23.12.2008.