

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГРАДАЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОТТИСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ И ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Изобразительные оригиналы с элементами тонового характера встречаются очень часто. Как правило, тоновый характер имеют фотографические изображения. Кроме того, тоновые переходы могут быть свойственны художественным иллюстрациям, как нарисованным человеком традиционным способом, так и полученным посредством цифровой живописи, включая использование искусственного интеллекта. Также полутоновые элементы могут быть в составе технических иллюстраций.

При полиграфическом воспроизведении изобразительной информации полутона на оттиске передаются с помощью растровой структуры. Нарушения тоновой (градационной) передачи часто возникают из-за растискивания печатных красок, приводящего к искажениям растровых точек и визуальному потемнению изображения.

Количественная оценка тоновой передачи обусловлена необходимостью решать следующие задачи:

- 1) нормализация градационной передачи на печатной форме;
- 2) нормирование и контроль градационных искажений при печати;
- 3) моделирование результатов печати на допечатной стадии для достоверного отображения информации на мониторе и выполнения корректных преобразований в цветовое пространство печатного процесса.

Количественная оценка тоновой передачи на оттиске предполагает измерение растровых контрольных объектов на шкалах оперативного контроля печатного процесса. Существуют различные показатели воспроизведения растровой структуры.

К традиционным показателям можно отнести следующие:

1. Оптическая плотность растровой области  $D_R$ . Растровая область включает в себя не только растровые точки, но и пробелы между ними. Показатель  $D_R$  легко измерить денситометром, однако в первичном виде для нормирования точности градационной передачи он не применяется. Это объясняется сложностью сопоставления значений  $D_R$  при печати на разных видах бумаги из-за разной оптической плотности сплошного красочного слоя – плашки. Вместе с тем на основе  $D_R$  могут быть вычислены вторичные показатели тоновой пере-

дачи.

2. Относительная площадь растровой точки (Dot Area), называемая также значением тона (Tone Value). Этот показатель выражается в долях от единицы или в %. Процентный показатель удобен для нормирования точности воспроизведения полутонов и сопоставления результатов печати на различных образцах бумаги.

Относительный показатель, характеризующий значение тона, может определяться как чисто геометрическая характеристика на основе площади заполнения точкой растровой ячейки. Такой вариант показателя актуален для оценки тоновой передачи на печатной форме, где важно соблюдать геометрические размеры печатных элементов для последующего переноса краски в нужном количестве. Показатель значения тона на печатной форме измеряется специальным прибором – дотметром, оцифровывающим измеряемую поверхность с последующей алгоритмической обработкой массива цифровых данных.

Также показатель значения тона может определяться по формулам Мюррея–Девиса и Юла–Нильсена на основе денситометрических измерений. При этом для оценки тоновой передачи на оттиске важен показатель, отражающий не только физические размеры растровых точек, но и дополнительное зрительное потемнение изображения из-за оптических явлений в волокнах бумаги. Из этих соображений для вычисления значения тона на оттиске актуальна формула Мюррея–Девиса, которая имеет следующий вид:

$$S = 100 \cdot \frac{10^{-D_6} - 10^{-D_R}}{10^{-D_6} - 10^{-D_{пл}}} \quad (1)$$

где  $D_{пл}$  – оптическая плотность плашки (100%-ной области);  $D_6$  – оптическая плотность бумаги;  $D_R$  – оптическая плотность растровой области.

При этом измерение зональных оптических плотностей и последующий расчет значения тона применимы при использовании триадных красок СМΥК.

Альтернативный подход в оценке градационной передачи при печати триадными красками состоит в расчете колориметрического значения тона  $A$  на основе цветовых координат  $X, Y, Z$  (ISO 12647-1).

Для голубой краски:

$$A = 100 (X_0 - X_t) / (X_0 - X_s), \quad (2)$$

Для пурпурной и черной красок:

$$A = 100 (Y_0 - Y_t) / (Y_0 - Y_s), \quad (3)$$

Для желтой краски:

$$A = 100 (Z_0 - Z_t) / (Z_0 - Z_s), \quad (4)$$

где  $X_0, Y_0, Z_0$  – координаты цвета в колориметрической системе CIE

XYZ незапечатанного участка оттиска;  $X_t, Y_t, Z_t$  – координаты цвета растрового поля в системе CIE XYZ;  $X_s, Y_s, Z_s$  – координаты цвета плашки в системе CIE XYZ.

В силу разной природы первичных величин, положенных в основу расчета, значения денситометрического и колориметрического показателей тона могут отличаться. Для экспериментальной проверки сопоставимости этих двух показателей были выполнены измерения растровой структуры на 4-красочных оттисках, полученных офсетным и цифровым электрофотографическим способами с использованием амплитудно-модулированного и частотно-модулированного растривания. Сравнение денситометрического и колориметрического показателей значения тона показало, что в случае офсетной печати может иметь место расхождение в несколько процентов при печати голубой краской, причем это расхождение оказалось выше (4,9%) в случае частотно-модулированного растривания. Для красок других цветов разница несущественная (порядка 1%), сопоставимая с погрешностью измерения. В случае цифровой электрофотографической печати, помимо голубого тонера, также зафиксирована разница между денситометрическим и колориметрическим значением тона при печати пурпурным тонером (2,1%). Небольшое отличие от офсетной печати можно объяснить иными цветовыми свойствами красителей, используемых в электрофотографическом процессе.

Недостатком показателей тона обоих типов является их применимость для оценки тоновой передачи только при печати красками СМЮК. Для оценки градации тона при печати красками других цветов (так называемыми «смесевыми» красками) несколько лет назад был разработан более универсальный показатель Spot Color Tone Value (SCTV), который также, как и колориметрическое значение тона, базируется на измерении цветовых координат  $X, Y, Z$  (ISO 20654).

Определение SCTV производится в следующем порядке.

1. Расчет промежуточных параметров на основе координат  $X, Y, Z$  для бумаги, плашки и растрового поля:

$$\begin{aligned} V_x &= f\left(\frac{X}{X_n}\right) \cdot 116 - 16, \\ V_y &= f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \cdot 116 - 16, \end{aligned} \quad (5)$$

$$V_z = f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \cdot 116 - 16.$$

$$f(u) = u^{\frac{1}{3}}, \text{ если } u > \left(\frac{6}{29}\right)^3, \quad (6)$$

$$f(u) = \left(\frac{841}{108}\right) \cdot u + \frac{4}{29}, \text{ если } u \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3. \quad (7)$$

2. Расчет значений тона SCTV:

$$SCTV = 100 \cdot \sqrt{\frac{(V_{xt} - V_{xp})^2 + (V_{yt} - V_{yp})^2 + (V_{zt} - V_{zp})^2}{(V_{xs} - V_{xp})^2 + (V_{ys} - V_{yp})^2 + (V_{zs} - V_{zp})^2}}, \quad (8)$$

где индекс  $p$  соответствует бумаге, индекс  $t$  – растровому полю, индекс  $s$  – плашке.

Показатель SCTV выражается в процентах, но, в отличие от традиционных показателей тона, он не привязан к площади растровой точки. Этот показатель характеризует не растровую структуру, а именно зрительное восприятие изображения на оттиске.

Преимуществами показателя SCTV перед традиционными характеристиками тоновой передачи являются:

1) возможность количественно охарактеризовать тональные уровни в интервале 0–100% при использовании красок любых цветов, а не только триадных;

2) равноконтрастная тоновая шкала, т. е. одинаковый численный прирост значения тона соответствует степени изменения тона, воспринимаемой человеческим глазом, на всех участках тоновой шкалы.

Показатель SCTV можно рассчитать как для смесевых красок различных цветов, так и для цветов CMYK, т. е. он является универсальным. Ввиду универсальности показателя SCTV в новой редакции стандарта офсетной печати ISO 12647-2, находящейся в стадии разработки, вводится аналогичный показатель тона для печати триадными красками – Color Tone Value (CTV), цветовое значение тона. При этом не отвергается традиционное денситометрическое значение тона.

Экспериментальное сравнение денситометрического и цветового показателей значения тона для оттисков офсетной и цифровой печати показало существенное отличие показателя CTV в меньшую сторону (как минимум 15%). При этом разница меняется для красок различных цветов – максимальное различие (27,2%) достигнуто для черного тонера. Это подтверждает ориентацию показателя CTV на характеристику зрительного восприятия отпечатанного изображения, а не на характеристику геометрических параметров растровой структуры.

Таким образом, использование альтернативных показателей тоновой передачи, базирующихся на колориметрических параметрах оттиска, расширяет возможности оценки качества воспроизведения изобразительной информации. Вместе с тем для управления процессом печати могут быть полезны и традиционные показатели, характеризующие воспроизведение растровой точки как микроштрихового элемента.