

УДК 006:005.6:655

DOI: 10.22213/2413-1172-2026-1-44-55

## Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах

В. Р. Севрюгин, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Стандарты, регламентирующие контроль процесса изготовления полиграфических оттисков, одним из основных параметров, определяющих их визуальные характеристики, устанавливают параметр «значение тона». Параметр является одним самых неоднозначных и до конца не определенных в полиграфическом воспроизведении: на протяжении нескольких десятилетий изменяется сам термин, его определение и формулы расчета. В то же время этот параметр играет ключевую роль в управлении качеством печатной продукции – настройке цветовоспроизведения под эталонные условия печати. Проект четвертой редакции ISO 12647-2 дает достаточно спорное определение параметра «значение тона» – «обозначение видимой интенсивности (яркости или светлоты)» – и предлагает использовать приблизительно равноконтрастные тона, рассчитанные по формуле, не связанной с общепринятым равноконтрастным цветовым пространством CIELAB и цветовыми различиями. В статье на основе стандартов проводится ретроспективный анализ параметра «значение тона», который показывает тенденцию его развития – от относительной площади растровых элементов и оптической плотности к равноконтрастным тонам и цвету. Анализ формул расчета позволил выявить физический и математический смысл параметра и сделать следующие основные выводы. Красочные тона связаны с градацией поверхностной концентрации светопоглощающего вещества, моделью которой являются градационные шкалы. Применение растровой структуры – это лишь один из способов формирования такой градации. Тона реальных красок изменяют все опорные цветовые стимулы зрительных ощущений и само восприятие цвета, а не только светлоты. Результатом работы стало понятие «равноконтрастное значение тона» как процентного показателя оценки зрительного восприятия – цвета по сравнению с незапечатанным материалом (бумагой) и полностью запечатанным (плашкой). Предложены новые формулы расчета равноконтрастных значений тона на основе цветовых различий, а также даны рекомендации по применению и контролю разных видов значений тона в условиях производства.*

**Ключевые слова:** значение тона, относительная площадь растровых элементов, градационная шкала, опорные цветовые стимулы, цвет, равноконтрастность, цветовое различие.

### Введение

Одним из основных параметров, определяющих визуальные характеристики полиграфических изображений, является *tone value* – значение тона. Этот параметр позволяет контролировать передачу тонов изображения на различных этапах полиграфического воспроизведения – в цифровых файлах, на фотоформах (при их использовании), печатных формах, оттисках. Термин использовался еще в первых стандартах ИСО в 1996 г. [1, 2], затем в последующих редакциях происходило расширение и изменение его толкования и формул расчета. Сегодня параметр *значение тона* используется не только для контроля на разных стадиях процесса, но и для управления процессом в целом – настройке цветовоспроизведения под эталонные условия печати. При этом распределение тонов на оттиске для каждой краски предлагается свести к равноконтрастному для зрительного восприятия человека. Параметр *значение тона* является одним из самых неоднозначных и до конца не определенных параметров. Применение находят почти десятком его определений и формул расчета. В отечественной полиграфической литературе термин ранее использовался редко, и многие полиграфисты до сих пор не приняли дословный перевод *tone value* как *значение тона*.

**Цель** статьи – с помощью ретроспективного анализа и анализа формул расчета параметра «значение тона» выявить тенденции исторического развития, физический и математический смысл параметра, и на их основе прийти к более точным определениям

и формулам, а также дать рекомендации по использованию различных видов значений тона.

Статья ограничена рамками понятий *цифровое значение тона* и *значение тона на оттиске*, опуская промежуточные этапы (фотоформы и печатные формы) и не рассматривая искажения тонов и их причины в процессе полиграфического воспроизведения.

### 1. История параметра «значение тона» и формул его расчета

#### *Видимая относительная площадь растровых элементов и формула Шеберстова – Мюррея – Дэвиса*

Первоначально в полиграфическом воспроизведении параметр был связан с регулярной растровой структурой: изображение разбивается на растровые ячейки, на оттиске растровые элементы покрыты слоем краски, а остальная часть ячейки остается не запечатанной бумагой. *Относительная площадь растровых элементов* – доля поверхности, покрытая краской и равная отношению площади растровых элементов к площади растровой ячейки. Визуальная оценка такого растрового поля с относительной площадью растровых элементов  $a$  определяется оптической плотностью  $D$ . В 1936 г. А. Мюррей [3] и В. И. Шеберстов [4] независимо друг от друга опубликовали формулу, связывающую две этих величины. Сегодня формулу обычно приводят в следующем виде:

$$D_t = -\lg \left[ a \cdot 10^{-D_s} + (1-a) \cdot 10^{-D_p} \right], \quad (1.1)$$

где  $D_t$  – оптическая плотность растрового поля;  $D_s$  – оптическая плотность сплошного красочного слоя

(плашки);  $D_p$  – оптическая плотность незапечатанного материала (бумаги);  $a$  – доля поверхности, покрытая краской.

Формула известна как формула Мюррея – Дэвиса (в отечественной литературе Шеберстова – Мюррея – Дэвиса) и описывает процесс визуального дерастрирования: из-за конечного зрительного разрешения растровая структура воспринимается как сплошной тон.

Оптическая плотность, рассчитанная по такой формуле, оказывается меньше экспериментально измеренной, так как не учитывает оптические явления, связанные с рассеянием и поглощением света бумагой и краской. Для учета этой составляющей, называемой *оптической*, в формулу вводится  $n$  – поправка Юла – Нильсена:

$$D_t = -n \lg \left[ a \cdot 10^{-D_s/n} + (1-a) \cdot 10^{-D_p/n} \right]. \quad (1.2)$$

*Относительная площадь растровых элементов*  $A$ , %, рассчитывается по обратной формуле по измеренным оптическим плотностям бумаги, плашки и раstra как

$$A = 100 \cdot \frac{10^{-D_t} - 10^{-D_p}}{10^{-D_s} - 10^{-D_p}} = 100 \cdot \frac{1 - 10^{-(D_t - D_p)}}{1 - 10^{-(D_s - D_p)}}. \quad (1.3)$$

Так как оптическая плотность получена в результате измерений, то *значение тона* включает не только площадь покрытия краской, но и вышеупомянутую оптическую составляющую, поэтому его называли *видимым, эквивалентным, общим* или *интегральным*.

До сих пор формула (1.3) является основной для расчета значения тона.

**В отечественной учебной и научно-технической литературе прошлого века** фотографическое и полиграфическое воспроизведение были тесно связаны и имели общую терминологию [5, 6]. Разделялись *градационные* и *цветовые* свойства изображений. Первые связывали с *градацией* – последовательностью светлотных свойств объекта – таких физических величин, как *яркость, коэффициенты отражения, пропускания* или *поглощения, оптическая плотность*. Термин *градация* (лат. gradatio – постепенность, последовательность) связан с использованием *градационных шкал* – наборов полей, упорядоченных в порядке возрастания или убывания значений такой величины. Градационные шкалы позволяют оценивать тоновоспроизведение на разных стадиях процесса и служат для построения передаточной функции между выходом и входом отдельной стадии или всего процесса, называемой *градационной характеристикой* или *кривой*. Если следовать этой логике, то термин *градация* должен использоваться только в единственном числе с указанием конкретной величины: *градация яркости, градация оптической плотности* и др. Величин было несколько, дополнительно их разделяли на физические величины, которые можно измерить, и на визу-

*альные, или интегральные* величины, которые воспринимаются зрительно. Необходим был единый обобщенный термин для величин уровней градации. Одни авторы стали употреблять термины *тон* или *полутон* (*тоновые* или *полутонные* изображения, *тонопередача, тоновоспроизведение*). Другие начали использовать термин *градация* без указания величины, связывая его с *gradus* – ступень, степень, например, *градации изображения*.

*Тон* и *градация* были связаны с оптической плотностью  $D$  и относительными площадями растровых элементов  $S$ . *Градационная кривая* – зависимость оптической плотности оттиска  $D^{отт}$  от оптической плотности оригинала  $D^{оп}$  или от относительной площади  $S$ . Разделяли *растровые* и *визуальные* величины. Связь между оптической плотностью и относительной площадью описывается формулой Шеберстова – Мюррея – Дэвиса (1.1), если величины одного вида (растровые или визуальные), или с поправкой Юла – Нильсена (1.2), если величины разного вида.

После выхода первых стандартов ISO 12647-1:1996 и ISO 12647-2:1996 обобщенным термином стал термин *значение тона*, который закрепился почти в десятке российских стандартов.

#### **Параметр «значение тона» в международных стандартах**

**Денситометрическое и колориметрическое значение тона (растровая структура).** Термины *tonwert* – *тон*, *tonwertzunahme TZ* – *приращение тона*, *tonwertzunahme-sollkurve* – *кривая приращения тона* есть в немецком стандарте конца 80-х годов прошлого века – Handbuch zur Standardisierung des Offsetdruckverfahrens [7].

В первых редакциях ISO 12647-1, ISO 12647-2 1996 г. еще приводятся двойные термины *tone value* и *dot area* – *значение тона* и *относительная площадь растровых элементов*; *tone value increase* и *dot gain* – *приращение значения тона* и *растискивание*. Указывается, что *dot area* и *dot gain* применимы только к растровой структуре.

*Значение тона (относительная площадь растровых элементов)* на оттиске определено как процент поверхности, который виден покрытым красителем одного цвета и рассчитан по обратной формуле Мюррея – Дэвиса (1.3).

Определены два метода измерения и расчета значения тона.

1. Измерение оптической плотности с помощью денситометра с условиями измерения согласно [8]. Для хроматических красок выбирается канал (светофильтр), дающий наибольшее значение при измерении оптической плотности плашки, а для черной краски выбирается визуальный светофильтр. В [9] для значений, вычисляемых по формуле (1.3), вводится термин *денситометрическое значение тона*.

2. Измерение с помощью колориметра координат цвет в системе CIEXYZ для незапечатанного материала (индекс 0 в формуле), раstra (индекс t) и плашки (индекс s) и расчет по следующим формулам:

для голубой краски

$$A = 100 \cdot \frac{X_t - X_0}{X_s - X_0};$$

для пурпурной и черной краски

$$A = 100 \cdot \frac{Y_t - Y_0}{Y_s - Y_0}; \quad (1.4)$$

для желтой краски

$$A = 100 \cdot \frac{Z_t - Z_0}{Z_s - Z_0}.$$

В более поздних стандартах [9, 10] для значений, вычисляемых по формулам (1.4), вводится термин *колориметрическое значение тона*. Такое значение тона может быть вычислено из *данных профилирования (characterization data)* печатных процессов, которые связывают цифровые значения тона с колориметрическими координатами цвета, и зачастую не содержат спектральные данные, необходимые для вычисления *денситометрических значений тона*.

**Цифровое значение тона.** Первоначальный термин *ink value* – значение краски как значение в цифровом файле количества красителя [11]. Для растровой структуры этот термин был эквивалентен *относительной площади растровых элементов* на фотоформе.

В стандартах [12, 13] вводятся новые термины, определения и формулы расчета.

*Значение тона (файл данных)* – значение, пропорциональное значению в печати и закодированное в файле данных. Значение тона в процентах, вычисляется из десятичных значений кода пикселя, которые при 8-битном кодировании имеют значения от 0 до 255, по следующей формуле:

$$A = 100 \cdot \frac{V_p - V_0}{V_{100} - V_0}, \quad (1.5)$$

где  $V_p$  – десятичное значение кода пикселя;  $V_0$  – десятичное значение, соответствующее значению тона 0 %;  $V_{100}$  – десятичное значение, соответствующее значению тона 100 %.

В проекте стандарта ISO/DIS 12647-2023 введен термин *цифровое значение тона*, тогда *приращение значения тона* – разница значения тона на оттиске с *цифровым значением тона*.

**Значения тона на основе поглощения или отражения.** Денситометрический, колориметрический и узкополосный методы измерения. Во второй редакции ISO 12647-1:2004 и ISO 12647-2: 2004 отмечается, что, так как передача тонов в некоторых процессах возможна без использования растровой структуры, термин *значение тона* не должен быть привязан только к ней. Термины *dot area (относительная площадь растровых элементов)* и *dot gain (растискивание)* признаны устаревшими и применимы только к растровой структуре.

В ISO/TS 10128: 2009 в отдельном приложении предпринимается попытка разобраться с понятием *значение тона* и перейти от *видимой относительной площади покрытия краской* для регулярной растровой структуры к *оценке доли поглощения света измеряемого образца по отношению к красочной плашке и бумаге*. Коэффициенты поглощения и отражения в сумме дают 1 (в отсутствие пропускания), поэтому основная формула расчета значения тона принимает вид

$$\begin{aligned} \text{Apparent Tone Value} &= \\ &= 100 \cdot \frac{A_t - A_p}{A_s - A_p} = 100 \cdot \frac{R_t - R_p}{R_s - R_p}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

где *Apparent Tone Value* – видимое значение тона;  $A_t$  – коэффициент поглощения растрового поля;  $A_p$  – коэффициент поглощения бумаги;  $A_s$  – коэффициент поглощения красочной плашки;  $R$  – соответствующие коэффициенты отражения, которые могут быть измерены денситометрами и спектрофотометрами.

Интегральное измерение коэффициентов отражения включает области незапечатанной бумаги, неоднородные области плашки, оптическое растискивание, неровности края точек и др. Допустимы любые измерения, связанные с поглощением или отражением.

Приводятся три метода измерения и вычисления значения тона, отличающиеся по выбору спектральных зон поглощения: *денситометрический* – используются зональные светофильтры (красный для голубой, зеленый для пурпурной, синий для желтой, визуальный для черной краски); *колориметрический* – используются колориметрические функции сложения координат цвета системы CIEXYZ ( $X$  для голубой,  $Y$  для пурпурной и черной,  $Z$  для желтой краски), *узкополосный* – используется длина волны с максимальным поглощением.

Значения тона, вычисленные тремя вышеперечисленными методами, будут отличаться. На практике обычно есть колориметрические данные профилирования эталонных условий печати и управление печатным процессом на основе денситометрических данных. Значения тона, вычисляемые на основе *колориметрического* и *денситометрического* метода, отличаются от 0,2...0,3 % для черной, примерно до 1 % для пурпурной и желтой до нескольких процентов для голубой краски. Поэтому для голубой краски вводится поправка  $X = 0,55Z$ , которая нивелирует спектральный отклик для координаты  $X$  в синей зоне спектра (рис. 2.1, с) и снижает отличие от денситометрического значения примерно до 1 %.

**Значение тона смесевой краски SCTV и красочное значение тона CTV.** В [14] вводится термин *Spot Colour Tone Value (SCTV)* – *значение тона смесевой краски*, которое описывает видимую площадь растрового поля для нетриадной краски. Шкала возможных значений тона между незапечатанным материалом и полностью запечатанной плашкой имеет приблизительно одинаковое визуальное отличие между соседними тонами. Диапазон метрики 0...100 %, где 0 – бумага, а 100 – красочная плашка.

$$SCTV = 100 \times \frac{\sqrt{(V_{xt} - V_{xp})^2 + (V_{yt} - V_{yp})^2 + (V_{zt} - V_{zp})^2}}{\sqrt{(V_{xs} - V_{xp})^2 + (V_{ys} - V_{yp})^2 + (V_{zs} - V_{zp})^2}}, \quad (1.7)$$

где  $V_{xs}, V_{ys}, V_{zs}$  – значения  $V_x, V_y, V_z$ , вычисленные для красочной палочки;  $V_{xp}, V_{yp}, V_{zp}$  – значения  $V_x, V_y, V_z$ , вычисленные для бумаги;  $V_{xt}, V_{yt}, V_{zt}$  – значения  $V_x, V_y, V_z$ , вычисленные для красочного тона.

$V_x, V_y, V_z$  – компоненты, вычисляемые аналогично координате светлоты CIE LAB  $L^*$  из координат CIE  $X, Y, Z$  соответственно [15]:

$$\begin{cases} L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16, & \text{если } \frac{Y}{Y_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3, \\ L^* = 116 \cdot \left(\frac{841}{108} \cdot \frac{Y}{Y_n} + \frac{4}{29}\right) - 16, & \text{если } \frac{Y}{Y_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3, \end{cases} \quad (1.8)$$

где  $Y$  – координата CIE  $Y$  измеряемого тона;  $Y_n$  – координата CIE  $Y$  стандартного источника света (для полиграфии D50 MKO).

В [16] формула (1.7) расчета значения тона смеси краски SCTV распространяется на триадные краски, и вводится новый термин *colour tone value* CTV – красочное значение тона, которое описывает видимую относительную площадь растрового поля краски в соответствии с ISO 20654. При использовании линейной кривой CTV градационная шкала со значениями тона между незапечатанной областью и палочкой имеет приблизительно равномерное визуальное распределение цветов отпечатанных полей. Например, 50%-е поле CTV воспринимается как расположенное приблизительно посередине между незапечатанным материалом и палочкой.

**Видимая интенсивность полей однокрасочной отпечатанной шкалы.** В проекте 4-й редакции ISO 12647-2 предпринимается очередная попытка привести иное толкование значению тона.

*Tone value* – значение тона – число от 0 до 1 или от 0 до 100 %, которое обозначает *видимую интенсивность (apparent intensity)* поля напечатанной шкалы.

*Apparent intensity* – *видимая интенсивность* – визуальный эффект красителя (например, яркость, контраст, светлота), используемый для описания и визуальной оценки поля шкалы.

*Digital tone value* – *цифровое значение тона* – цифровые значения в системе СМУК в файле формата PDF/X, предназначенного для печати.

*Printed tone value* – *значение тона (на оттиске)* – видимая интенсивность отпечатанной однокрасочной или трехкрасочной нейтральной шкалы.

*Density tone value* – *денситометрическое значение тона* – видимая интенсивность напечатанной однокрасочной шкалы, вычисленная из измерений оптической плотности по формуле Мюррея – Дэвиса.

*Colour tone value* – *красочное значение тона (CTV)* – видимая интенсивность напечатанной однокрасочной шкалы, вычисленная на основе измерений

координат цвета CIE XYZ таким же образом, как значение тона смеси краски SCTV в ISO 20654.

*Near-neutral CMY* и *black tone value* – «почти нейтральное» значение тона CMY и значение тона черной краски – видимая интенсивность поля напечатанной нейтральной шкалы CMY или черной краски, как определено в CGATS/15.

В ISO/DIS 12647-2023 не упоминается *колориметрическое значение тона*, по всей видимости, предполагается его замена на *красочное значение тона* CTV. Рекомендуется с помощью калибровочных кривых приводить к линейной кривой CTV – примерно равноконтрастному распределению тонов на оттиске.

**Выводы.** Таким образом, за почти столетнюю историю параметр *значение тона* много раз менял свое определение и формулы расчета. Основные из них:

- видимая относительная площадь растровых элементов или покрытия краской;
- видимая доля поглощения излучения по сравнению с бумагой и красочной палочкой;
- обозначение видимой интенсивности поля напечатанной шкалы.

При разных определениях одинаковыми формулами расчета остаются (1.3)–(1.6), дополнительно для CTV используется формула (1.7).

Просматривается общая тенденция выйти за пределы растровой структуры, используемой для передачи тонов в большинстве способах печати, и перейти от видимых характеристик отпечатанной поверхности к оценке визуального восприятия человека. Рекомендуется использовать равноконтрастные тона, но при этом используется формула (1.7), не связанная с общепринятой равноконтрастной системой CIE LAB.

Общим является то, что *значение тона* – нормированное процентное значение некоторой видимой или воспринимаемой визуальной величины поля градационной шкалы в диапазоне ее значений для бумаги (0 %) и для палочки (100 %).

Несмотря на то, что природа зрительного ощущения трехмерна, до сих пор для визуальной оценки красочного тона пытаются использовать одномерные величины, которых нет в теории цветового зрения: видимая площадь покрытия краской (растровых элементов), видимая доля поглощения излучения, видимая интенсивность. Не в полной мере учитываются такие важные аспекты, как красочный тон с точки зрения свойств запечатанного материала, стимулов зрительных ощущений и оценки зрительного восприятия.

В ISO/DIS 12647-2023 и ISO/TS 10128:2023 понятие тона распространяется на трехкрасочную нейтральную шкалу CMY; логично распространить ее и на наложения однокрасочных градационных шкал, часто используемых для оценки цветовосприятия.

В следующем разделе на основе анализа формул расчета выявим физический и математический смысл значения тона и попробуем дать новые, более точные определения и формулы расчета, устранив отмеченные выше недостатки.

## 2. Анализ формул, физический и математический смысл значения тона

### Значение тона как видимая относительная площадь покрытия краской

Как следует из первого раздела, первоначально значение термина связано с растровой структурой для одной краски. Пусть красочный слой на растровых точках однородный и имеет коэффициент отражения сплошного красочного слоя (плашки)  $R_s$ . Незапечатанная поверхность растровой ячейки также однородна и имеет коэффициент отражения бумаги  $R_p$ , доля поверхности (относительная площадь) покрытия краской составляет  $a$ , а доля поверхности, не покрытая краской  $(1 - a)$ . Тогда для коэффициента отражения растрового поля  $R_t$  можно записать

$$R_t = R_s a + R_p (1 - a). \quad (2.1)$$

Вместо коэффициентов отражения на практике используется оптическая плотность как отрицательный десятичный логарифм коэффициента отражения

$$D = -\lg(R).$$

Оптическая плотность связана линейной зависимостью по закону Бугера – Ламберта – Бера с поверхностной концентрацией светопоглощающего вещества  $\Gamma$ , равной произведению концентрации светопоглощающего вещества  $c$  и толщины красочного слоя  $l$  [5, 6]:

$$D_\lambda \sim \Gamma = cl.$$

Поверхностная концентрация светопоглощающего вещества  $\Gamma$ , моль/м<sup>2</sup>, – количество светопоглощающего вещества на единицу поверхности – не является устоявшимся термином в полиграфии, используется в статье для оценки способности запечатанной поверхности поглощать свет.

При записи (2.1) через оптическую плотность можно получить формулу (1.1) и обратную формулу для расчета значения тона  $A$  (1.3). Таким образом, физический смысл значения тона по (1.3) – относительная площадь покрытия краской при использовании растровой структуры, вычисленная через измеренную оптическую плотность.

### Значение тона как оценка доли поглощения по сравнению с бумагой и красочной плашкой

Из (2.1) следует основная формула для расчета значения тона:

$$A = 100a = 100 \cdot \frac{R_t - R_p}{R_s - R_p}. \quad (2.2)$$

Значение тона по этой формуле можно определить как нормированное значение коэффициента отражения или поглощения излучения измеряемого поля (индекс  $t$  в формуле) в диапазоне его значений для бумаги (индекс  $p$ ) и для плашки (индекс  $s$ ) в процентах.

Поглощение происходит за счет светопоглощающего вещества: с ростом его поверхностной концентрации поглощение сильнее. Поверхностную кон-

центрацию вещества можно изменять за счет увеличения количества красителя из-за большей толщины или большей площади растровых элементов. В фотографии и живописи тона могут передаваться за счет толщины слоя. В большинстве способов печати используется постоянная толщина слоя, и управление тонами происходит за счет изменения площади растровых элементов. В струйной и глубокой печати при передаче тонов изменяется и толщина, и площадь покрытия. Таким образом, с точки зрения свойств запечатанного материала *красочный тон* связан с поверхностной концентрацией светопоглощающего вещества – от нулевой на незапечатанном материале до максимальной на сплошном красочном слое. Поля градиционных шкал образуют градиацию поверхностной концентрации светопоглощающего вещества.

Так как коэффициенты поглощения и отражения зависят от длины волны, то «чем ближе спектральная полоса пропускания измерительной системы к длинам волн максимального поглощения, тем более точной будет оценка значения тона» (ISO/TS 10128:2009, с. 9). Для (2.2) это положение можно сформулировать по-другому: чем больше разница между значениями величины для плашки и бумаги, тем точнее будет значение тона. По методу выделения спектральной полосы пропускания и методу расчета коэффициентов отражения можно выделить несколько видов значений тона.

**Зональное значение тона.** Раньше в денситометрах для выделения спектральных зон поглощения использовали зональные светофильтры, зона пропускания которых соответствовала зонам поглощения триадных красок. Современные спектроденситометры-спектрофотометры измеряют коэффициенты отражения  $R_\lambda$  в некотором диапазоне длин волн  $\lambda$  (обычно от 380 до 730 нм с шагом 10 нм), а зональные коэффициенты отражения  $R$  могут быть рассчитаны по стандартизованным табличным значениям спектральной кривой пропускания выбранного светофильтра  $\tau_\lambda$ :

$$R = \frac{\Phi_{\text{тр}}}{\Phi_\tau} = \frac{\sum_\lambda \Phi_{\tau p, \lambda}}{\sum_\lambda \Phi_{\tau, \lambda}} = \frac{\sum_\lambda R_\lambda \tau_\lambda \cdot \Phi_{0, \lambda}}{\sum_\lambda \tau_\lambda \cdot \Phi_{0, \lambda}}, \quad (2.3)$$

где  $\Phi_\tau$  – поток излучения, пропущенный через зональный светофильтр;  $\Phi_{\text{тр}}$  – поток излучения, пропущенный через зональный светофильтр и отраженный от измеряемого образца;  $\Phi_0$  – падающий поток излучения.

Согласно ISO 5-3

$$R = \sum_\lambda \frac{R_\lambda W_\lambda}{100},$$

где  $W_\lambda$  – весовая функция, приведенная в ISO 5-3 для синего, зеленого, красного светофильтров для различных стандартов измерения, уже включает падающий поток излучения (обычно стандартного

источника света МКО А), спектральную кривую пропускания светофильтра и коэффициент нормирования. Для полиграфии в Европе и России используется стандарт Status E. Примерные кривые пропускания светофильтров, вычисленные из весовых коэффициентов, приведены на рисунке 2.1 для

сравнения вместе с кривыми отражениями триадных красок (эталонные условия офсетной печати FOGRA51). Для черной краски используется визуальный светофильтр, спектральная кривая пропускания которого совпадает с относительной спектральной световой эффективностью  $V(\lambda)$ .

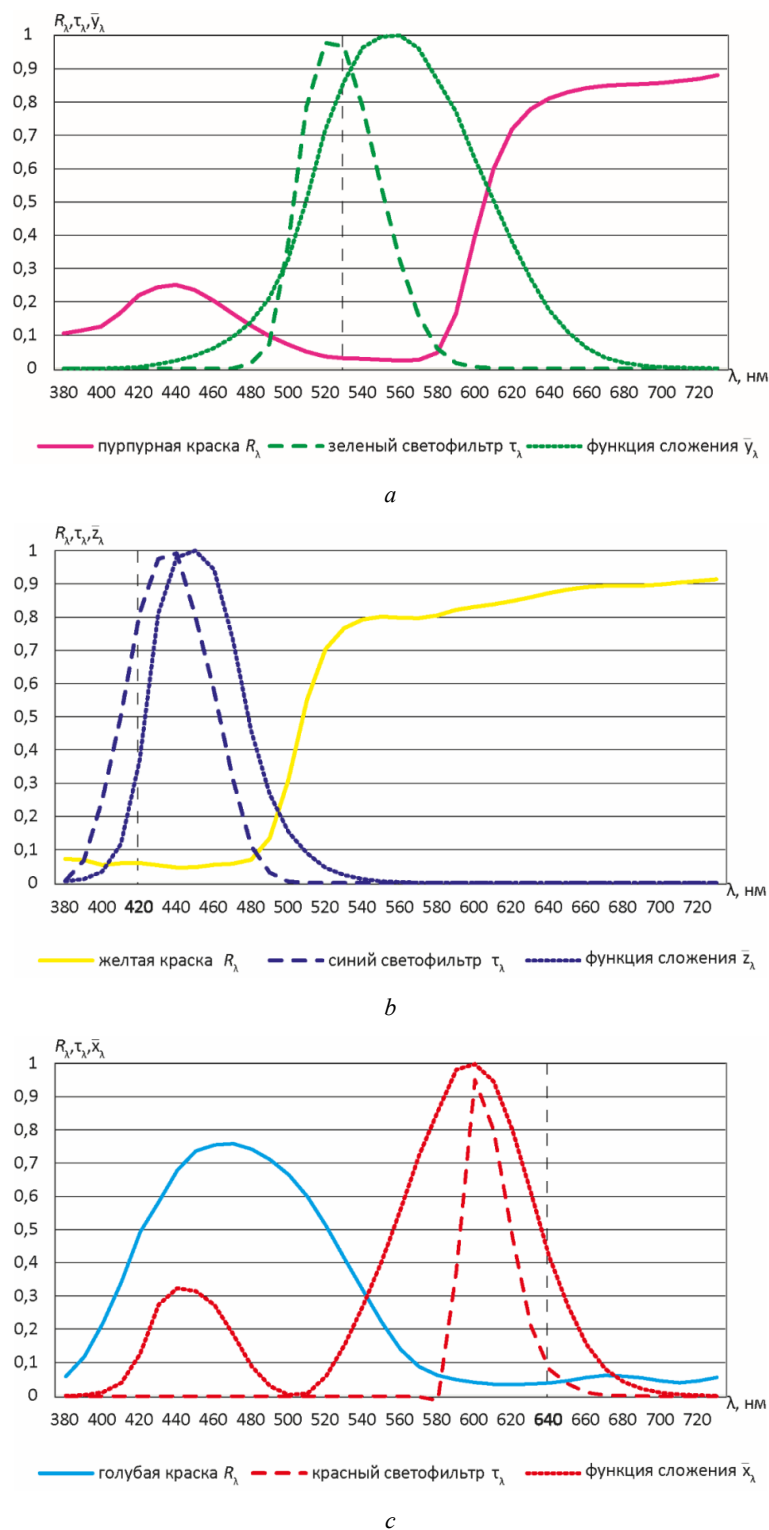


Рис. 2.1. Выделение спектральных зон поглощения хроматических триадных красок: *a* – пурпурной; *b* – желтой; *c* – голубой

Fig. 2.1. Allocation of spectral absorption zones of chromatic process colors: *a* - magenta; *b* - yellow; *c* - cyan

**Монохроматическое значение тона.** Монохроматический коэффициент отражения вычисляется на длине волны с максимальным поглощением краски (рисунок 2.1, вертикальные штриховые линии)

$$R_{\lambda} = \frac{\Phi_{\rho,\lambda}}{\Phi_{0,\lambda}}.$$

В первом разделе этому значению тона соответствует узкополосный метод, в ISO/TS 10128:2009 приведены значения длин волн для голубой краски (640 нм), пурпурной (530 нм), желтой (420 нм) и черной (460 нм). Формула может также использоваться для расчета значений тона смесевых красок.

**Колориметрическое значение тона.** Значение тона можно рассчитать по координатам цвета CIE  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  по формулам (1.4). На первый взгляд, эти формулы относятся к цвету, но в данном случае это не так. На примере голубой краски покажем, что формулы (1.4) аналогичны формуле (2.2), а функции сложения  $\bar{x}_{\lambda}$ ,  $\bar{y}_{\lambda}$ ,  $\bar{z}_{\lambda}$ , обычно используемые для вычисления координат цвета, служат в данном случае для выделения зон поглощения краски подобно спектральной кривой пропускания  $\tau_{\lambda}$ .

Согласно ISO 13655:2017

$$X = \sum_{\lambda} R_{\lambda} W_{X,\lambda} = \sum_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{D50,\lambda}. \quad (2.4)$$

Подставим (2.4) в (1.4):

$$A = 100 \cdot \frac{\sum_{\lambda} R_{t,\lambda} \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{D50,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{D50,\lambda}}{\sum_{\lambda} R_{s,\lambda} \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{D50,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{D50,\lambda}}. \quad (2.5)$$

Подставим (2.3) в (2.2):

$$A = 100 \cdot \frac{\sum_{\lambda} R_{t,\lambda} \tau_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} \tau_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda}}{\sum_{\lambda} R_{s,\lambda} \tau_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} \tau_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda}}. \quad (2.6)$$

Сравнение формул (2.5) и (2.6) показывает, что они аналогичны, только в качестве падающего излучения в формуле (2.5) взято излучение стандартного источника света МКО D50, а функция сложения  $\bar{x}_{\lambda}$  как и  $\tau_{\lambda}$  служит для выделения зоны поглощения голубой краски.

На рисунке 2.1 приведены спектральные кривые отражения хроматических триадных красок, пропускания зональных светофильтров и функций сложения, отмечены длины волн с максимальным поглощением. Очевидно, что по ISO/TS 10128: 2009 самыми точными являются *монохроматические*, а неточными – *колориметрические значения тона*. Однако в серии стандартов ISO 12647 в целях сохранения традиций в качестве целевых значений тона для эталонных условий печати используются *денситометрические зональные значения тона*. Различие колориметрических значений тона от денситометри-

ческих для триадных красок, с учетом поправки для координаты  $X$ , будут в пределах 1 %, поэтому они являются допустимой альтернативой.

#### **Значение тона как видимая интенсивность излучения**

Значение тона всегда было связано с визуальной оценкой. Но человек воспринимает не коэффициенты поглощения или отражения, которые можно считать свойствами окраски поверхностей, а сам отраженный свет.

В проекте 4-й редакции ISO 12647-2 предлагается определять значение тона как *видимую интенсивность* (яркость, светлота и т. д.) измеряемого поля. Видимая интенсивность предполагает не только усредненную визуальную оценку раstra с учетом всех оптических эффектов в слое бумаги и краски, но и использование световых величин при расчетах. При измерении визуальной оптической плотности используется визуальный светофильтр, спектральная кривая пропускания которого  $\tau(\lambda)$  соответствует относительной спектральной световой эффективности  $V(\lambda)$  и функции сложения  $\bar{y}(\lambda)$ . Тогда по (2.6) с учетом формулы, связывающей световой поток  $F$  с энергетическим потоком  $\Phi$ ,

$$F = 683 \sum_{\lambda} \Phi_{\lambda} V_{\lambda},$$

а также пропорциональности световых потока  $F$  и яркости  $Y$  можно записать

$$A = 100 \cdot \frac{\sum_{\lambda} R_{t,\lambda} V_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} V_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda}}{\sum_{\lambda} R_{s,\lambda} V_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda} - \sum_{\lambda} R_{p,\lambda} V_{\lambda} \cdot \Phi_{0,\lambda}} = 100 \cdot \frac{F_t - F_p}{F_s - F_p} = 100 \cdot \frac{Y_t - Y_p}{Y_s - Y_p}. \quad (2.7)$$

Значение тона (t), рассчитанное по (2.7), – нормированное процентное значение светового стимула (отраженного светового потока или яркости) в диапазоне его значений для плашки (s) и для бумаги (p).

По аналогии для светлоты

$$A = 100 \cdot \frac{L_t^* - L_p^*}{L_s^* - L_p^*} = 100 \cdot \frac{\Delta L_{tp}^*}{\Delta L_{sp}^*}. \quad (2.8)$$

*Значение тона по светлоте*, равное по (2.8) процентному отношению различий координаты светлоты между тоном и бумагой и между плашкой и бумагой, учитывает зависимость светлоты от яркости, обладает примерной равноконтрастностью и относится уже не столько к световому стимулу, сколько к оценке его восприятия.

Исследования применимости формул (2.7) и (2.8) к хроматическим краскам, тона которых в большей степени различаются по насыщенности, а не по светлоте, выходят за пределы этой статьи, как и проверка корректности определения значения тона как видимой интенсивности, предложенное в ISO/DIS 12647-2023.

**Значение тона как видимая интенсивность опорных цветовых стимулов**

Согласно трехкомпонентной теории цветового зрения ощущение цвета возникает в результате реакции трех видов фоторецепторов глаза на цветовые стимулы. При аддитивном синтезе цвета управляют интенсивностью опорных цветовых стимулов [R], [G] и [B] или [X], [Y] и [Z]. При субтрактивном синтезе цвета управление теми же стимулами происходит с помощью триадных красок путем поглощения (вычитанием) опорных стимулов из падающего белого освещения. Идеальная голубая краска *C* поглощает красный стимул, пурпурная *M* – зеленый, желтая *Y* – синий. Как уже указывалось, поглощение и, следовательно, интенсивность отраженного излучения зависит от поверхностной концентрации светопоглощающего вещества, которую можно изменять за счет толщины слоя и/или относительной площади покрытия краской.

В качестве опорных можно использовать цветовые стимулы [X], [Y] и [Z], интенсивность которых описывается координатами цветовой системы CIEXYZ. Тогда формулы (1.4) приобретают другой физический смысл – значение тона как нормированное процентное значение одного из опорных стимулов в диапазоне его значений для плашки и бумаги, изменяющегося при поглощении краской.

Реальные триадные краски поглощают и отражают во всех зонах спектра, человек ощущает цвет как результат одновременного воздействия всех трех стимулов, поэтому при оценке видимой интенсивности необходимо учитывать их все одновременно.

Тогда значение тона можно оценивать как совокупную видимую интенсивность трех опорных стимулов для оцениваемого поля по сравнению с бумагой и плашкой и рассчитывать по формуле

$$A = 100 \cdot \frac{\sqrt{(X_t - X_p)^2 + (Y_t - Y_p)^2 + (Z_t - Z_p)^2}}{\sqrt{(X_s - X_p)^2 + (Y_s - Y_p)^2 + (Z_s - Z_p)^2}}$$

Формула схожа с (1.4), но учитывает все три стимула и дает еще меньшие на несколько процентов значения тона. Формула схожа с (1.7), но не учитывает зависимость зрительного восприятия от стимулов как обратную кубическую степенную функцию (1.8).

**Колориметрический смысл значения тона**

При переходе от красочной плашки к бумаге на полях градационной шкалы уменьшается поверхностная концентрация светопоглощающего вещества, происходит разбеление цвета красочной плашки за счет цвета бумаги, при этом уменьшается насыщенность для хроматических красок при незначительном изменении цветового тона, увеличивается светлота. В таком случае можно ввести понятие светлонасыщенность  $L^*C_{ab}^*$ , которое по аналогии с цветностью *chromaticness* (ISO 13655:2017) можно определить как проекцию на плоскость постоянного цветового тона в цветовом пространстве CIELCh. В таком случае ось абсцисс соответствует насыщенности  $C_{ab}^*$ , а ось ординат – светлоте  $L^*$  (рис. 2.2, b). На рисунке показаны точки для бумаги *p*, тона *t* и плашки *s*.

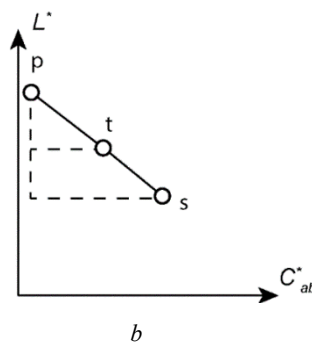
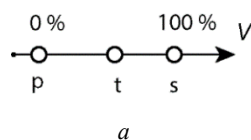


Рис. 2.2. К расчету значения тона в одномерном (a) и двумерном (b) пространстве

Fig. 2.2. Calculating tone value in one-dimensional (a) and two-dimensional (b) space

*Различие по светлонасыщенности* CIELCh  $\Delta L^*C_{ab}^*$  – различие между двумя цветами, проецируемыми на плоскость постоянного цветового тона в цветовом пространстве CIELCh,

$$\Delta L^*C_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta C_{ab}^{*2}}$$

Введем термин *значение тона по светлонасыщенности*, которое можно вычислить как процентное отношение различий по светлонасыщенности между тоном и бумагой и между плашкой и бумагой:

$$A_{\Delta L^*C_{ab}^*} = 100 \cdot \frac{\Delta L^*C_{ab,tp}^*}{\Delta L^*C_{ab,sp}^*} = 100 \cdot \frac{\sqrt{(L_t^* - L_p^*)^2 + (C_{ab,t}^* - C_{ab,p}^*)^2}}{\sqrt{(L_s^* - L_p^*)^2 + (C_{ab,s}^* - C_{ab,p}^*)^2}} \quad (2.9)$$

Значение тона по светлонасыщенности рассчитывается в равноконтрастном пространстве и может также считаться равноконтрастным.

### Математический смысл значения тона

Формулы расчета значения тона с использованием цифрового кода  $V$  (1.5), коэффициентов отражения  $R$  или поглощения  $A$  (1.6), светового потока  $F$  и яркости  $Y$  (2.7), светлоты  $L$  (2.8) или одной из координат цвета системы CIE XYZ (1.4) являются однотипными и вычисляют процентное отношение расстояния между точками тона  $t$  и бумаги  $p$  к расстоянию между точками плашки  $s$  и бумаги  $p$  на оси одномерного пространства рассматриваемой величины (рис. 2.2, а). В этом геометрический смысл значения тона.

Формула (2.9) является формулой процентного отношения расстояния на плоскости (в двумерном пространстве)  $L^*C^*_{ab}$  от точки тона (координаты  $L^*_t C^*_{ab,t}$ ) до точки бумаги (координаты  $L^*_p C^*_{ab,p}$ ) к расстоянию от точки плашки (координаты  $L^*_s C^*_{ab,s}$ ) до точки бумаги (координаты  $L^*_p C^*_{ab,p}$ ) (рис. 2.2, б).

Для расчета красочных значений тона SCTV и CTV используются компоненты  $V_x, V_y, V_z$ , вычисляемые аналогично координате светлоты CIELAB  $L^*$  из координат CIE  $X, Y, Z$  соответственно. По сути эти компоненты образуют некоторую трехмерную систему  $V_x V_y V_z$ . Тогда формулы расчета значения тона SCTV и CTV (1.7) является формулой процентного отношения расстояния в трехмерном пространстве  $V_x V_y V_z$  от точки тона (координаты  $V_{xt} V_{yt} V_{zt}$ ) до точки бумаги (координаты  $V_{xp} V_{yp} V_{zp}$ ) к расстоянию от точки плашки (координаты  $V_{xs} V_{ys} V_{zs}$ ) до точки бумаги (координаты  $V_{xp} V_{yp} V_{zp}$ ).

### Равноконтрастные значения тона по цветовому различию

Зрительным восприятием человека от красочного тона (поля однокрасочных градиционных шкал и их

наложений) является цвет, имеющий трехмерную природу. Для расчета значения тона в трехмерном пространстве можно использовать по аналогии с предыдущим параграфом расстояние в пространстве. Подойдет любая колориметрическая система, но для получения равноконтрастных тонов она должна быть равноконтрастной. Расстояние в трехмерном равноконтрастном цветовом пространстве называют цветовым различием. Тогда значение тона в таком пространстве – процентное отношение цветовых различий между тоном и бумагой и между плашкой и бумагой.

Итогом поиска равноконтрастного цветового пространства стало принятие в 1976 г. системы CIELAB. Система является лишь приблизительной равноконтрастной, поэтому для расчета малых цветовых различий чаще используются другие формулы, например CIEDE2000.

Сделаем допущение, что цвет плашки  $s$ , тона  $t$  и бумаги  $p$  лежат на одной прямой в цветовом пространстве CIELAB (рис. 2.3, а). Значение тона можно найти как отношение цветовых различий между тоном и бумагой  $\Delta E^*_{ab,tp}$  и плашкой и бумагой

$\Delta E^*_{ab,sp}$ :

$$A_{\Delta E^*_{ab}} = 100 \cdot \frac{\Delta E^*_{ab,tp}}{\Delta E^*_{ab,sp}} = 100 \cdot \frac{\sqrt{(L^*_t - L^*_p)^2 + (a^*_t - a^*_p)^2 + (b^*_t - b^*_p)^2}}{\sqrt{(L^*_s - L^*_p)^2 + (a^*_s - a^*_p)^2 + (b^*_s - b^*_p)^2}} \quad (2.10)$$

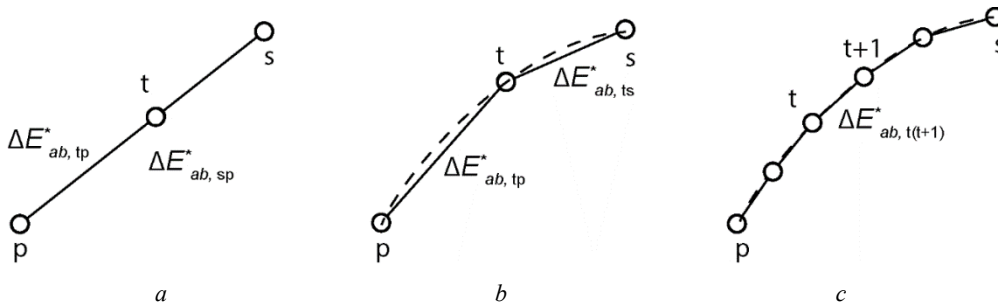


Рис. 2.3. К расчету равноконтрастных значений тона по цветовому различию

Fig. 2.3. Calculating uniform tone values based on color difference

Равноконтрастное значение тона по цветовому различию – процентное отношение расстояний между цветами тона и бумаги и между цветами плашки и бумаги в трехмерном пространстве CIELAB или процентное отношение цветовых различий между тоном и бумагой  $\Delta E^*_{ab,tp}$  и плашкой и бумагой  $\Delta E^*_{ab,sp}$ .

Формула похожа на (1.7), но так как расчет координат цвета CIE  $a^*$  и  $b^*$  происходит по иным форму-

лам, чем  $V_x$  и  $V_z$ , то и значения тона будут заметно отличаться.

Тона хроматических триадных красок не лежат на одной прямой (рис. 2.4).

В отчетах программы Color Ant фирмы Color Logic введено понятие *Colorimetric Linearity* – колориметрическая линейность для однокрасочных тонов как пропорциональность цветовых различий тона к белому (бумаге) и к плашке (рис. 2.3, б), для которой можно записать

$$A_{\Delta E_{ab}^*} = 100 \cdot \frac{\Delta E_{ab, tp}^*}{\Delta E_{ab, ts}^* + \Delta E_{ab, tp}^*}, \quad (2.11)$$

ГДЕ  $\Delta E_{ab, tp}^*$  – цветовое различие между тоном и бумагой;  $\Delta E_{ab, ts}^*$  – цветовое различие между тоном и плашкой.

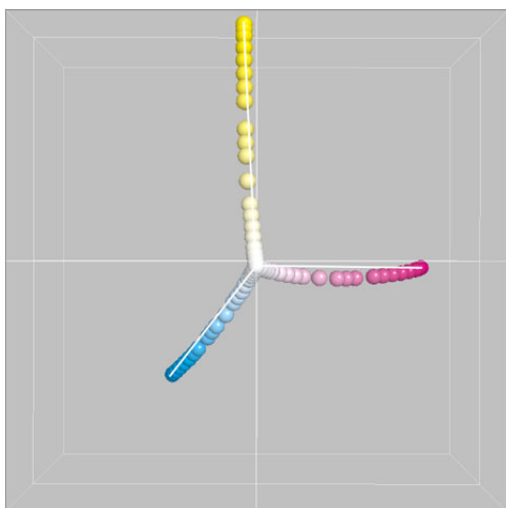


Рис. 2.4. Тона хроматических триадных красок в цветовом пространстве CIELAB

Fig. 2.4. Tone values of chromatic process colors in the CIELAB color space

Так как между цветами соседних тонов должно быть одинаковое цветовое различие или расстояние в цветовом пространстве CIELAB (рис. 2.3, с), то равноконтрастное значение тона можно рассчитать, как отношение суммы цветовых различий между соседними тонами от бумаги до расчетного тона к сумме цветовых различий от бумаги до плашки, т. е. отношение расстояний на аппроксимированной отрезками кривой расположения тонов

$$A_{\Delta E_{ab}^*} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=p}^{t-1} \Delta E_{ab, i(i+1)}^*}{\sum_{i=p}^{s-1} \Delta E_{ab, i(i+1)}^*}, \quad (2.12)$$

где  $\Delta E_{ab, i(i+1)}^*$  – цветовое различие между соседними тонами.

При контроле печати измеряются только три поля (бумага, плашка и тон), и (2.12) принимает вид (2.11). Если между соседними полями градационной шкалы цветовые различия небольшие, то можно использовать формулу расчета малых цветовых различий CIEDE2000 (ISO 13655:2017)

$$A_{\Delta E_{00}} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=p}^{t-1} \Delta E_{00, i(i+1)}}{\sum_{i=p}^{s-1} \Delta E_{00, i(i+1)}}. \quad (2.13)$$

Так как цветовые различия CIEDE2000 на оттиске в большей степени соответствуют зрительному восприятию, то можно ожидать получение более равноконтрастных тонов. Формула (2.13) применима только при достаточном для получения малых цветовых различий количестве измеренных тонов.

### Рекомендации по использованию значений тона и формул расчета

В основу рекомендаций выбора вида значения тона положим следующие положения:

- большинство актуальных стандартов серии ISO 12647 указывают в качестве целевых – *зональные денситометрические значения тона*;

- большинство эталонных данных профилирования и профилей ICC [18, 19] получены для *денситометрических значений тона*, однако есть уже данные и для линейной кривой CTV;

- последние версии стандартов ISO (ISO/DIS 12647-2023; ISO/TS 10128:2023; ISO 12647-6:2020) рекомендуют использовать по возможности *красочные значения тона* и линейную кривую CTV;

- для многих печатных процессов, например, для флексографской печати (ISO 12647-6:2020), эталонными являются данные профилирования, позволяющие вычислять различные значения тона на основе колориметрических данных (CTV или *равноконтрастные по цветовому различию*);

- существующие приборы позволяют измерять *денситометрические значения тона* и значения тона *смесевой краски SCTV*, которые совпадают с CTV;

- приборы также могут передавать данные измерения в программы типа Excel, в которых можно вычислять любые виды значений тона;

- необходимо учитывать, какие значения тона поддерживают используемые программы профилирования, обработки данных профилирования и РИП выводного устройства.

Если условия печати, например, актуальные FOGRA39 и 51 для офсетной печати, основаны на *денситометрических значениях тона*, то они и будут оптимальными в качестве целевых при калибровке и контроле в процессе печати. Если условия печати основаны на *линейных красочных значениях тона* CTV, то нужно использовать измерения SCTV (CTV) и достигать линейности этих значений на оттиске. Для нестандартных условий печати или условий, основанных на данных профилирования, для управления и контроля могут быть использованы *равноконтрастные значения тона по цветовому различию*.

### Выводы и заключение

1. Красочные тона в полиграфии связаны не только с растровой структурой, не только со светлотными свойствами и не только с одной из триадных красок.

2. Красочные тона необходимо рассматривать с точки зрения свойств запечатанного материала, стимулов зрительного ощущения и зрительного восприятия.

3. Моделью красочных тонов полиграфического изображения являются однокрасочные градационные

шкалы и их наложения с некоторой постепенно изменяющейся от поля к полю величиной.

4. Величиной, которая характеризует свойство запечатанных полей градационной шкалы, является поверхностная концентрация светопоглощающего вещества. Концентрация изменяется от нулевой (незапечатанный материал) до максимальной (плашка), при этом увеличивается насыщенность (хроматические краски), уменьшается светлота, и незначительно изменяется цветовой тон. Растровая структура изменяет поверхностную концентрацию за счет площади покрытия краской и является только одним из способов передачи тонов.

5. Поверхностная концентрация светопоглощающего вещества реальных триадных красок изменяет опорные цветовые стимулы зрительных ощущений, поэтому при расчете тонов они должны учитываться все одновременно.

6. Для оценки зрительного восприятия полей градационной шкалы можно использовать координаты цвета в системе CIELAB, тогда показателем различия между тонами (полями) является цветовое различие.

7. Так как красочные тона оцениваются по восприятию, то они должны быть равноконтрастными – равные изменения тона должны иметь равные цветовые различия и вызывать равные изменения зрительного восприятия.

Итогом эволюции значения тона стало *равноконтрастное значение тона* – процентный показатель зрительного восприятия (цвета) от градации поверхностной концентрации светопоглощающего вещества на полях однокрасочных градационных шкал и их наложений по сравнению с незапечатанным материалом (0 %) и сплошным красочным слем (100 %).

Результат работы: на основе ретроспективного анализа параметра значения тона, анализа формул расчета выявлены его физический и математический смысл и предложены новые определения и формулы для *равноконтрастных значений тона* (2.8)–(2.13), даны рекомендации по использованию и контролю разных видов значений тона на производстве.

Исследование точности и применимости предложенных формул будет предоставлено в отдельной статье.

#### Библиографические ссылки

1. ISO 12647-1:1996 Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods.
2. ISO 12647-2:1996 Graphic technology - Graphic technology - Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.
3. Murray A. (1936) Monochrome reproduction in photo-engraving. *Journal of the Franklin Institute*. Vol. 221, iss. 6. Pp. 721-744.
4. Шеберстов В. И. Количественные соотношения характеристик позитива и негатива, необходимые для нор-

мального воспроизведения оригинала в автотипном процессе // Научные труды НИИ ОГИЗ. 1936. Вып. 3. С. 46.

5. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. М. : Книга, 1986. 280 с.

6. Шашлов Б. А., Шеберстов В. И. Теория фотографических процессов. М. : Мир книги, 1993. 312 с.

7. Handbuch zur Standardisierung von Offsetdruckverfahren. Wiesbaden : Bundesverb. Druck - München : FOGRA, 1989. 141 s.

8. ISO 5-3. Photography and graphic technology: Density measurements. Part 3: Spectral conditions.

9. ISO/DIS 12647-2023. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

10. ISO/TS 10128:2009. Graphic technology: Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data.

11. ISO 12642-1996. Graphic technology: Input data for characterization of 4-colour process printing. Part 1: Initial data set.

12. ISO 12647-1:2004. Graphic technology: Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods.

13. ISO 12647-2:2004. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

14. ISO 20654:2017. Graphic technology: Measurement and calculation of spot colour tone value (SCTV).

15. ISO 13655:2017. Graphic technology: Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images

16. ISO/TS 10128:2023. Graphic technology: Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data

17. ISO 12647-6:2020. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 6: Flexographic printing.

18. International Color Consortium (ICC), CMYK Characterization Data Registry. URL: <https://www.color.org/chardata> (дата обращения: 10.01.26).

19. International Color Consortium (ICC), Profile Registry. URL: <https://www.color.org/registry/> (дата обращения: 10.01.26).

#### References

1. ISO 12647-1:1996 Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods.
2. ISO 12647-2:1996 Graphic technology - Graphic technology - Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.
3. Murray A. (1936) [Monochrome reproduction in photo-engraving]. *Journal of the Franklin Institute*, vol. 221, iss. 6, pp. 721-744.
4. Sheberstov V.I. (1936) Quantitative ratios of positive and negative characteristics necessary for normal reproduction of the original in the autotype process. Scientific works of the Research Institute of OGI, iss. 3, p. 46 (in Russ.).
5. Shashlov B.A. (1986) [Color and color reproduction]. Moscow: Kniga Publishing, 1986, 280 p. (in Russ.).
6. Shashlov B.A., Sheberstov V.I. (1993) [Theory of photographic processes]. Moscow: Mir Knigi Publishing, 312 p. (in Russ.).
7. Handbuch zur Standardisierung von Offsetdruckverfahren. Wiesbaden: Bundesverb. Druck - München: FOGRA, 1989, 141 p.

8. ISO 5-3. Photography and graphic technology: Density measurements. Part 3: Spectral conditions.

9. ISO/DIS 12647-2023. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

10. ISO/TS 10128:2009. Graphic technology: Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data.

11. ISO 12642-1996. Graphic technology: Input data for characterization of 4-colour process printing. Part 1: Initial data set.

12. ISO 12647-1:2004. Graphic technology: Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods.

13. ISO 12647-2:2004. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

14. ISO 20654:2017. Graphic technology: Measurement and calculation of spot colour tone value (SCTV).

15. ISO 13655:2017. Graphic technology: Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images

16. ISO/TS 10128:2023. Graphic technology: Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data

17. ISO 12647-6:2020. Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 6: Flexographic printing.

18. International Color Consortium (ICC), CMYK Characterization Data Registry. URL: <https://www.color.org/chardata> (дата обращения: 10.01.26).

19. International Color Consortium (ICC), Profile Registry. URL: <https://www.color.org/registry/> (дата обращения: 10.01.26).

### The Evolution of “Tone Value” Parameter in Graphic Technology Standards

V.R. Sevryugin, DSc in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*Standards governing the control process for the production prints establish “tone value” as one of the primary parameters determining its visual characteristics. The parameter is one of the most uncertain and ambiguous in printing colour reproduction: over the course of several decades, the term itself, its definitions and calculation formulae have changed. At the same time, this parameter plays a key role in printed product quality control - adjusting the colour reproduction of printing system to reference printing conditions. The draft fourth edition of ISO 12647-2 provides a rather controversial definition of “tone value” as an indication of apparent intensity (brightness or lightness), and proposes the use of approximately uniform visual spacing of printed tones calculated using a formula unrelated to the generally accepted uniform CIELAB colour space and colour differences. The paper deals with retrospective analysis of “tone value” based on standards, demonstrating its development trend from apparent dot area and density to uniform visual spacing of the printed tones and colour. The analysis of the calculation formulae made it possible to identify the physical and mathematical meaning of the parameter and draw the following main conclusions. The printed tones are associated with the gradation of the surface concentration of the light-absorbing substance, the model of which is the printed single colour scales. The use of a halftone screen is only one way to form such a gradation. The printed tones of real inks change all the reference colour stimuli of visual sensations and the perception of colour itself, and not just lightness. The result of this paper was the concept of “uniform tone value” as a percentage indicator of visual perceptions - colour compared to unprinted substrate (paper) and the fully covered (solid). New formulae for calculating «uniform tone value» based on colour differences are proposed, and recommendations are given for the use and control of different types of tone values in production conditions.*

**Keywords:** tone value, dot area rate, gradation scale, reference colour stimuli, colour, uniform contrast, colour difference.

Получено 03.02.2026

#### Образец цитирования

Сеvрюгин В. Р. Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2026. Т. 29, № 1. С. 44–55. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-1-44-55

#### For Citation

Sevryugin V.R. (2026) [The Evolution of “Tone Value” Parameter in Graphic Technology Standards]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 29, no. 1, pp. 44-55. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-1-44-55 (in Russ.).