

УДК 006:005.6:655

DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-54-67

Равноконтрастные величины в полиграфии

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

Последние версии полиграфических стандартов ИСО рекомендуют для контроля и управления воспроизведением цвета на оттиске использовать приблизительно равноконтрастные «красочные значения тона» CTV, связанные с опорными цветовыми стимулами обратной кубической функцией. Эти рекомендации вызвали дискуссии о термине «значение тона», который до сих пор в России ассоциировался с «относительной площадью растровых элементов», и о понятии «равноконтрастность», которое традиционно связывали с логарифмической или обратной кубической зависимостью восприятия светлоты от светового стимула. В настоящее время общепринятыми в полиграфии оценками различий между цветами являются цветовые различия CIELAB и CIEDE2000, на основе которых автором предложены формулы расчета равноконтрастных значений тона. В статье предложен метод оценки равноконтрастности величины, связанной с красочными тонами, основанный на отклонении от линейной зависимости с принятой равноконтрастной величиной. В качестве такой величины принято «значение тона по цветовому различию CIELAB», которое обеспечивает практически равные цветовые различия между тонами. Предложена методика визуализации градационных шкал с линейной тонопередачей разных видов значений тона. Исследования проведены на эталонных данных профилирования офсетной печати на мелованной бумаге FOGRA39 и FOGRA51. Исследования показали, что «оптическая плотность» и «светлота» не являются равноконтрастными величинами для триадных красок (такие величины должны учитывать все характеристики зрительного восприятия). «Красочные значения тона» CTV имеют существенные отклонения от равноконтрастности, а расчет и оценку равноконтрастных тонов точнее всего проводить на основе самих цветовых различий CIELAB и CIEDE2000. Однако и они не позволяют получить тона триадных красок, однозначно оцениваемые как равноконтрастные. Проведенные исследования ставят под сомнение, что общепринятые математические модели, основанные на обратной кубической зависимости восприятия света и цвета от светового или опорных цветовых стимулов, на равноконтрастном цветовом пространстве CIELAB или цветовом различии CIEDE2000, описывают связь между зрительным восприятием и стимулами с достаточной точностью для тонов триадных красок.

Ключевые слова: значение тона, красочное значение тона CTV, градационная шкала, опорные цветовые стимулы, цвет, равноконтрастность, цветовое различие.

Введение

При воспроизведении цвета в полиграфии используются тона триадных красок, управляющие цветовыми стимулами за счет поглощения освещения в красной, зеленой и синей зонах спектра. Уровень интенсивности стимулов зависит от поверхностной концентрации светопоглощающего вещества, которую можно изменять за счет площади покрытия краской (использование растровой структуры) и/или за счет толщины слоя краски. Нулевая поверхностная концентрация соответствует незапечатанному материалу (бумаге), а максимальная – сплошному красочному слою (плашке). Для контроля тонопередачи используют однокрасочные градационные шкалы, поля которых образуют последовательность (градацию) тонов от бумаги до плашки. Вопрос однозначной оценки красочных тонов до сих пор остается нерешенным, применение находят с десяток величин и их параметров, ретроспективный анализ терминов, определений и формул расчета которых проведен автором в [1]. Ситуация осложняется тем, что не все полиграфисты в России приняли и сами термины *тон* и *значение тона* [2].

Равноконтрастными называют величины, равные изменения которых приводят к равным зрительно воспринимаемым различиям. Такие величины оказываются пропорционально связанными со зрительным восприятием, являются его оценкой, а их

математическую зависимость со стимулами зрительных ощущений можно распространить и на само зрительное восприятие.

Традиционно для оценки красочных тонов использовали так называемые *видимые*, т. е. зрительно ощущаемые, величины, такие как *оптическая плотность D*, *относительная площадь покрытия краской A*, *коэффициент отражения R*, характеристики световых стимулов (*световой поток F* и *яркость Y*) или цветовых стимулов (например, *координаты цвета CIE X, Y, Z*). Понятие *видимый* включает, с одной стороны, учет конечного разрешения зрения – человек воспринимает неоднородные участки бумаги и краски, рассеяние и поглощение в их слоях, неровные края растровых элементов как сплошной тон; с другой стороны – относительные спектральные чувствительности глаза или отдельных видов фоторецепторов. Первое достигается измерением *коэффициентов отражения* тона с усреднением по площади апертуры прибора, второе – применением зональных светофильтров в денситометрах или их табличных весовых функций в спектроденситометрах, функций сложения цвета МКО в спектрофотометрах.

Одним из ключевых вопросов при воспроизведении цвета является количество красочных тонов, которых должно быть достаточно для непрерывной или плавной тонопередачи. Недостаточное их количество приведет к эффекту постеризации (окоптури-

ванию) в изображении – между соседними тонами будет заметна граница. Избыточное количество приведет к увеличению объема изобразительной информации. При этом не должно быть недостатка или избытка тонов в светах, средних тонах или тенях. Тона должны быть равномерно распределены по диапазону восприятия между бумагой и плашкой, т. е. быть *равноконтрастными* – равное изменение тона приводит к равному воспринимаемому различию. Для оценки таких тонов необходимо использовать не просто *видимые*, а *зрительно воспринимаемые* величины, т. е. учитывающие особенности восприятия человеком света и цвета. Если *световой поток* и *световая яркость*, *коэффициент отражения*, *относительная площадь растровых элементов в файле* и *цифровое значение тона* считаются линейными (относительно стимулов) и не учитывают особенности восприятия, то *оптическая плотность D*, связанная со стимулами логарифмической функцией, и *координата светлоты CIE L**, связанная с ними обратной кубической функцией, ранее считались равноконтрастными [3, 4].

Последние версии полиграфических стандартов ИСО настоятельно рекомендуют для контроля и управления воспроизведением цвета на оттиске использовать приблизительно равноконтрастное *красочное значение тона CTV*, которое рассчитывается с использованием всех трех координат цвета CIE X, Y, Z и обратной кубической функции [5–7]. При этом указывается, что особенностью равноконтрастных тонов является восприятие 50%-го тона как приблизительно середины между бумагой и плашкой. В статье «Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах» (В. Р. Севрюгин. 2026) автором предложены *равноконтрастные значения тона*, вычисленные в равноконтрастном цветовом пространстве CIELAB или на основе цветовых различий CIEDE2000, и приведены формулы их расчета.

Цель работы – исследовать на равноконтрастность величины и параметры, связанные с тонами триадных красок, такие как *коэффициент отражения*, *оптическая плотность*, *светлота*, *красочное значение тона CTV* и *равноконтрастные значения тона по цветовому различию*, и оценить их применимость для триадных красок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбор принятой равноконтрастной величины – между соседними тонами должны быть равные воспринимаемые цветовые различия.
2. Оценка равноконтрастности величин, связанных с красочными тонами, относительно принятой равноконтрастной величины.
3. Визуализация градационных шкал триадных красок с распределением тонов, значения которых рассчитаны на основе оцениваемых величин.

В статье исследуются сами величины и их параметры без учета любых искажений, которые характерны всем этапам процесса цветовоспроизведения и оцениваются общей градационной кривой [8].

С помощью калибровки – изменений цифровых значений тона – можно добиваться большей точности цветовоспроизведения [9], в том числе и за счет приведения общей градационной кривой к единому равноконтрастному распределению тонов на оттиске.

1. Предмет исследования

Данные для проведения исследований. Расчет значений величин и их параметров проведен на основе данных профилирования FOGRA39, FOGRA51 и FOGRA51_Spectral условий офсетной печати на мелованной бумаге согласно [10–12].

Параметр значение тона. Для обозначения и оценки красочного тона (индекс t) используют не сами величины, связанные с ним, а их параметр – *значение тона A* – нормированное процентное значение величины в диапазоне ее значений для бумаги (индекс p) и для плашки (индекс s), который можно рассчитать по следующим формулам (В. Р. Севрюгин):

- для одномерной величины

$$A = 100 \cdot \frac{x_t - x_p}{x_s - x_p}; \quad (1)$$

- для двумерной величины

$$A = 100 \cdot \frac{\sqrt{(x_t - x_p)^2 + (y_t - y_p)^2}}{\sqrt{(x_s - x_p)^2 + (y_s - y_p)^2}}; \quad (2)$$

- для трехмерной величины

$$A = 100 \cdot \frac{\sqrt{(x_t - x_p)^2 + (y_t - y_p)^2 + (z_t - z_p)^2}}{\sqrt{(x_s - x_p)^2 + (y_s - y_p)^2 + (z_s - z_p)^2}}. \quad (3)$$

Значение тона 0 % соответствует бумаге, 100 % – плашке. Геометрически *значение тона* – процентное отношение расстояний в одномерном, двумерном или трехмерном пространстве от тона до бумаги и от плашки до бумаги.

Линейные величины и параметры оценки красочных тонов. *Цифровое значение тона* – значение тона в файле данных – рассчитывается по формуле

$$A = 100 \cdot \frac{V_p - V_0}{V_{100} - V_0}, \quad (4)$$

где V_p – десятичное значение кода пикселя; V_0 – десятичное значение, соответствующее значению тона 0 %; V_{100} – десятичное значение, соответствующее значению тона 100 % [13].

Эталонные данные профилирования FOGRA39 и FOGRA51 содержат колориметрические данные – *координаты цвета в системах CIEXYZ* и/или CIELAB, а FOGRA51_Spectral – спектральные данные измерений – *коэффициенты отражения R_λ* для диапазона длин волн от 380 до 730 нм с шагом 10 нм для 1617 полей с *цифровыми значениями тона* согласно [14]. В них входят 22 поля градационных

шкал каждой триадной краски со значениями 0, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 (кроме черной), 55, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 98, 100 %. Из спектральных данных согласно [15] можно вычислить для каждого поля *зональные коэффициенты отражения* R и соответствующие *оптические плотности* D :

$$R = \sum_{\lambda} \frac{R_{\lambda} \cdot W_{\lambda}}{100}, \quad (5)$$

где W_{λ} – весовая функция, приведенная для зональных светофильтров, в том числе и для используемого в России стандарта измерения Status E;

$$D = -\lg(R). \quad (6)$$

Для расчета *денситометрического значения тона* используют обратную формулу Шеберстова – Мюррея – Дэвиса [16, 17]

$$A = 100 \cdot \frac{R_t - R_p}{R_s - R_p} = 100 \cdot \frac{10^{-D_t} - 10^{-D_p}}{10^{-D_s} - 10^{-D_p}}. \quad (7)$$

Определение *денситометрическое*, и формула с использованием *оптической плотности* – дань традиции; в современных приборах для расчета используют *коэффициенты отражения* R , и правильнее было бы называть этот параметр *значение тона по коэффициенту отражения*. При использовании растровой структуры для формирования тонов такое значение тона эквивалентно *видимой относительной площади растровых элементов (apparent dot area)*.

В статье В. Р. Севрюгина «Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах» (2026) показано, что вместо коэффициентов отражения в (7) могут быть использованы пропорциональные величины – *поток излучения* и *яркость*. При использовании визуального светофильтра при измерении световых величин

$$A = 100 \cdot \frac{R_t - R_p}{R_s - R_p} = 100 \cdot \frac{F_t - F_p}{F_s - F_p} = 100 \cdot \frac{Y_t - Y_p}{Y_s - Y_p}. \quad (8)$$

Формулы (8) со световыми величинами применяются только для черной краски, а с использованием яркости – координаты CIE Y – и для пурпурной краски. Для голубой и желтой красок не происходит выделение зон поглощения, и будут получаться заниженные значения. Поэтому *денситометрические значения тона* хроматических красок вычисляются с использованием соответствующих зональных светофильтров, а *колориметрические значения тона* – на основе координат CIE X , Y , Z с использованием функций сложения МКО \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} . Для расчета *колориметрических значений тона* согласно ISO 12647-1:2004 и ISO/TS 10128: 2023 используются следующие формулы:

- для пурпурной и черной краски

$$A = 100 \cdot \frac{Y_t - Y_0}{Y_s - Y_0};$$

- для желтой краски

$$A = 100 \cdot \frac{Z_t - Z_0}{Z_s - Z_0}; \quad (9)$$

- для голубой краски.

$$A = 100 \cdot \frac{X'_t - X'_0}{X'_s - X'_0}, \text{ где } X' = X - 0,55Z.$$

Денситометрические и *колориметрические значения тона* отличаются друг от друга в пределах одного процента, являются взаимозаменяемыми, и их применение зависит от того, какие данные – спектральные или колориметрические – доступны для расчетов. *Цифровое, денситометрическое (относительная площадь растровых элементов) и колориметрическое значения тона* можно считать линейными по отношению к световому или цветовым стимулам, и они не учитывают особенности зрительного восприятия.

Для дальнейшего исследования выберем только одну линейную величину – *коэффициент отражения* и связанный с ней параметр *денситометрического значения тона*, который рассчитаем по формулам (5) и (7) из спектральных коэффициентов отражения FOGRA51_Spectral для полей градационных шкал триадных красок. Для FOGRA39 отсутствуют спектральные данные, необходимые для расчета коэффициентов отражения, поэтому будем использовать взаимозаменяемое *колориметрическое значение тона* (9).

Оптическая плотность. *Оптическая плотность* как логарифмическая величина долгое время считалась равноконтрастной на основе закона Вебера – Фехнера, связывающего светлоту и яркость логарифмической зависимостью. Параметр *значение тона для оптической плотности* можно рассчитать по формуле

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

Оптические плотности D полей градационных шкал триадных красок рассчитаем по формуле (6) по найденным ранее *коэффициентам отражения* R (FOGRA51_Spectral).

Красочное значение тона SCTV. Продвигаемый комитетом ISO/TC130 «Технология полиграфии» приблизительно равноконтрастный параметр SCTV, вычисляемый как *значение тона смешевой краски* SCTV [18], учитывает все три цветовых стимула и использует обратную кубическую функцию для оценки зрительного восприятия:

$$SCTV = 100 \times \frac{\sqrt{(V_{xt} - V_{xp})^2 + (V_{yt} - V_{yp})^2 + (V_{zt} - V_{zp})^2}}{\sqrt{(V_{xs} - V_{xp})^2 + (V_{ys} - V_{yp})^2 + (V_{zs} - V_{zp})^2}}, \quad (11)$$

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 CIELAB L^* из координат CIE X, Y, Z [19]:

$$\begin{cases} L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16, & \text{если } \frac{Y}{Y_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3, \\ L^* = 116 \cdot \left(\frac{841}{108} \cdot \frac{Y}{Y_n} + \frac{4}{29}\right) - 16, & \text{если } \frac{Y}{Y_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3, \end{cases} \quad (12)$$

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

Красочное значение тона CTV рассчитаем по (11) и (12) для полей градационных шкал триадных красок по колориметрическим данным профилирования FOGRA39 и FOGRA51.

Равноконтрастные величины и параметры пространства CIELAB. В качестве равноконтрастного цветового пространства сегодня принято пространство CIELAB, в котором равные расстояния должны соответствовать равным воспринимаемым цветовым различиям. В статье «Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах» В. Р. Севрюгина (2026) предложены следующие виды *равноконтрастных значений тона*, формулы расчета которых следуют из (1)–(3) в зависимости от мерности величины:

- по светлоте

$$A_{\Delta L^*} = 100 \cdot \frac{L_t^* - L_p^*}{L_s^* - L_p^*} = 100 \cdot \frac{\Delta L_{tp}^*}{\Delta L_{sp}^*}; \quad (13)$$

- по светлосыщенности

$$\begin{aligned} A_{\Delta L^* C_{ab}^*} &= 100 \cdot \frac{\sqrt{(L_t^* - L_p^*)^2 + (C_{ab,t}^* - C_{ab,p}^*)^2}}{\sqrt{(L_s^* - L_p^*)^2 + (C_{ab,s}^* - C_{ab,p}^*)^2}} = \\ &= 100 \cdot \frac{\Delta L^* C_{ab,tp}^*}{\Delta L^* C_{ab,sp}^*}; \end{aligned} \quad (14)$$

- по CIELAB цветовому различию с бумагой

$$\begin{aligned} A_{\Delta E_{ab,p}^*} &= 100 \cdot \frac{\sqrt{(L_t^* - L_p^*)^2 + (a_t^* - a_p^*)^2 + (b_t^* - b_p^*)^2}}{\sqrt{(L_s^* - L_p^*)^2 + (a_s^* - a_p^*)^2 + (b_s^* - b_p^*)^2}} = \\ &= 100 \cdot \frac{\Delta E_{ab,tp}^*}{\Delta E_{ab,sp}^*}; \end{aligned} \quad (15)$$

- по CIELAB цветовому различию между тонами

$$A_{\Delta E_{ab,t(i+1)}^*} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=p}^{t-1} \Delta E_{ab,i(i+1)}^*}{\sum_{i=p}^{s-1} \Delta E_{ab,i(i+1)}^*}; \quad (16)$$

На практике для расчета значения тона измеряют только три поля – бумагу, плашку и оцениваемый тон, тогда (16) приобретает вид

$$A_{\Delta E_{ab,sp}^*} = 100 \cdot \frac{\Delta E_{ab,tp}^*}{\Delta E_{ab,ts}^* + \Delta E_{ab,tp}^*}, \quad (17)$$

Такой параметр назовем значением тона по CIELAB цветовому различию с бумагой и плашкой.

Рассчитаем вышеперечисленные виды значений тона для полей градационных шкал триадных красок данных профилирования FOGRA39 по (13)–(17) и ISO 13655:2017.

Равноконтрастные величины на основе цветовых различий CIEDE2000. Пространство CIELAB является только приблизительно равноконтрастным. На практике в полиграфии обычно используют формулу расчета малых цветовых различий CIEDE2000, которая считается в большей степени соответствующей зрительному восприятию. По аналогии с использованием цветового различия CIELAB предложены следующие виды значений тона (см. В. Р. Севрюгин. Эволюция параметра «значение тона» в полиграфических стандартах):

- по CIEDE2000 цветовому различию с бумагой

$$A_{\Delta E_{00,p}} = 100 \cdot \frac{\Delta E_{00,tp}}{\Delta E_{00,sp}}; \quad (18)$$

- по CIEDE2000 цветовому различию между тонами

$$A_{\Delta E_{00,t(i+1)}} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=p}^{t-1} \Delta E_{00,i(i+1)}}{\sum_{i=p}^{s-1} \Delta E_{00,i(i+1)}}; \quad (19)$$

- по CIEDE2000 цветовому различию с бумагой и плашкой

$$A_{\Delta E_{00,sp}} = 100 \cdot \frac{\Delta E_{00,tp}}{\Delta E_{00,ts} + \Delta E_{00,tp}}. \quad (20)$$

Так как между бумагой (p), плашкой (s) и тоном (t) цветовые различия не являются малыми, то применение формул (18) и (20) ожидаемо не будет корректным. Оценим их точность и применимость для триадных красок. Для (19) цветовые различия рассчитываются между соседними 22 тонами одной из триадных красок, и их можно относить к малым.

Рассчитаем вышеперечисленные виды значений тона для полей градационных шкал триадных красок данных профилирования FOGRA39 по (18)–(20) и ISO 13655:2017.

2. Методы исследования

Оценка равноконтрастности величин, связанных с красочными тонами. Рассчитанные для одних и тех же полей однокрасочных градационных шкал величины можно сравнить с равноконтрастной величиной, принятой как эталон и рассчитанной для этих же полей. Если величины связаны прямо пропорциональной зависимостью (линейный график), то оцениваемая величина также является равноконтрастной. Если зависимость нелинейная, то можно оценить эту нелинейность. При оценке характеристик приборов измерения [20] нелинейность равна

максимальному положительному или отрицательному отклонению кривой от выбранной прямой линии, и выражается в процентах от диапазона выходных значений. При использовании метода конечных точек (Terminal Point Method) прямая линия проходит через конечные точки диапазона значений. Для оценки используется также кривая ошибок – зависимость нелинейности от входных значений, обе величины рассчитываются как процент по диапазону значений.

Пусть y – принятая равноконтрастная величина, а x – оцениваемая величина, условие равноконтрастности которой – линейная зависимость с принятой равноконтрастной величиной, т. е. точка $t(x_t, y_t)$ должна лежать на прямой линии, проходящей через точки бумаги $p(x_p, y_p)$ и плашки $s(x_s, y_s)$, тогда нелинейность δ_t – отклонение от этой прямой (рис. 1, а).

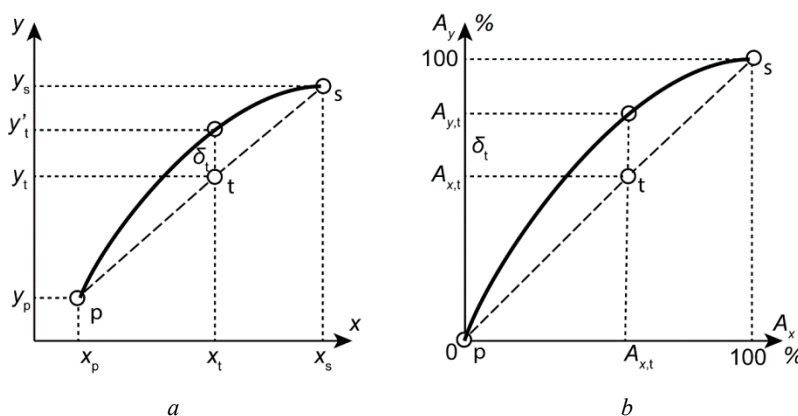


Рис. 1. Оценка нелинейности (неравноконтрастности): а – величина; б – значение тона по величине

Fig. 1. Evaluation of nonlinearity (perceptual non-uniformity): a - quantity; b - tone value by quantity

Пусть принятая равноконтрастная величина y – параметр значение тона, тогда $y_p = 0\%$, $y_s = 100\%$, и по условию линейности

$$y_t = \frac{y_s - y_p}{x_s - x_p} (x_t - x_p) + y_p = 100 \cdot \frac{x_t - x_p}{x_s - x_p} = A_{x,t},$$

где $A_{x,t}$ согласно (1) – параметр значение тона оцениваемой величины. Вместо термина нелинейность далее будем использовать термин неравноконтрастность. Тогда неравноконтрастность для данной точки можно найти как разницу значений тона принятой равноконтрастной величины $A_{y,t}$ и оцениваемой величины $A_{x,t}$ (рис. 1, б):

$$\delta_t = A_{y,t} - A_{x,t}. \quad (21)$$

Положительное значение δ_t соответствует большему значению тона равноконтрастной величины (смещение зрительно воспринимаемой оценки к темному, плашке), отрицательное значение δ_t – меньшему значению тона равноконтрастной величины (смещение к светлому, бумаге). Тогда неравноконтрастность δ_{\max} для оцениваемой величины можно найти как максимальное или минимальное значение δ_t :

$$\delta_{\max} = \begin{cases} \max_{p \leq t \leq s} (A_{y,t} - A_{x,t}), & \text{где } (A_{y,t} - A_{x,t}) \geq 0, \\ \min_{p \leq t \leq s} (A_{y,t} - A_{x,t}), & \text{где } (A_{y,t} - A_{x,t}) < 0. \end{cases} \quad (22)$$

Кривая неравноконтрастности – зависимость неравноконтрастности δ от значения тона оцениваемой величины A .

Таким образом, вместо величин, связанных с тонами, для оценки их равноконтрастности можно использовать их параметр значение тона и следующие виды оценки – неравноконтрастность δ_{\max} и кривую неравноконтрастности $\delta(A)$.

Выбор принятой равноконтрастной величины.

Равные изменения равноконтрастной величины должны визуально восприниматься равными, и такая оценка может быть дана на основе цветовых различий CIELAB и CIEDE2000.

Так как шаг между рассчитанными значениями тона оказывается неравным, то будем оценивать цветовые различия на 1% значения тона, разделив цветовое различие между тонами на разницу их значений тона. Значения тона, вычисляемые по формулам (13)–(17), и в какой-то мере CTV (11) относятся к равноконтрастному пространству CIELAB, поэтому оценивать их будем по ΔE_{ab}^* . Значения тона, вы-

числяемые по формулам (18)–(20), соответственно, будем оценивать по ΔE_{00}^* .

Для оценки разброса полученных цветовых различий будем использовать график зависимости *цветового различия на 1 % значения тона от цифрового значения тона и коэффициент вариации CV* – процент стандартного отклонения от среднего значения. Параметр *значение тона*, который обеспечит наименьший разброс (наиболее равные) *цветовые различия на 1 %*, примем за равноконтрастную величину.

Равноконтрастные по CIELAB цветовому различию тона оценим по CIEDE2000 цветовому различию, что позволит сравнить между собой эти два вида цветовых различий на примере тонов триадных красок.

Визуализация градационных шкал триадных красок. Рассчитаем координаты цвета в системах CIELAB и CIEXYZ для всевозможных тонов градационных шкал триадных красок с десятичными значениями кода V от 255 (бумага) до 0 (плашка) или с цифровыми значениями тона от 0 (бумага) до 100 % (плашка) с шагом 0,39 % с помощью системы управления цветом ICC CMS и ICC профиля на основе FOGRA39. Далее по вышеприведенным формулам можно рассчитать оцениваемые виды значений тона. При линейной тонопередаче рассчитанные значения тона на оттиске равны цифровым значениям тона,

поэтому для расчетных значений, ближайших к 0, 10, 20, ..., 100 %, находим координаты цвета CIELAB и назначаем их полям градационных шкал триадных красок, например, в графическом редакторе Adobe Photoshop. С полученных изображений для визуальной оценки можно изготовить цифровую или экранную цветопробу.

Интерес представляет визуальная оценка условий печати с *линейной тонопередачей*, расчет значений тона по (9), с *равноконтрастными тонами по цветовым различиям CIELAB и CIEDE2000*, расчет по (16) и (19), в сравнении со стандартными условиями печати FOGRA39, для которых координаты CIELAB взяты для цифровых значений тона 0, 10, ..., 100 %.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Выбор принятой равноконтрастной величины.

На рисунке 2 приведены графики разброса *цветовых различий ΔE_{ab}^* на 1 % для красочных значений тона CTV, значений тона по светлоте $A_{\Delta L^*}$, светлосыщенности $A_{\Delta L^* C_{ab}^*}$, по CIELAB цветовому различию между тонами $A_{\Delta E_{ab}^*}$* для хроматических триадных красок (FOGRA39).

Коэффициенты вариации CV соответствующих разбросов приведены в таблице 1, где С – голубая, М – пурпурная, Y – желтая и К – черная краски.

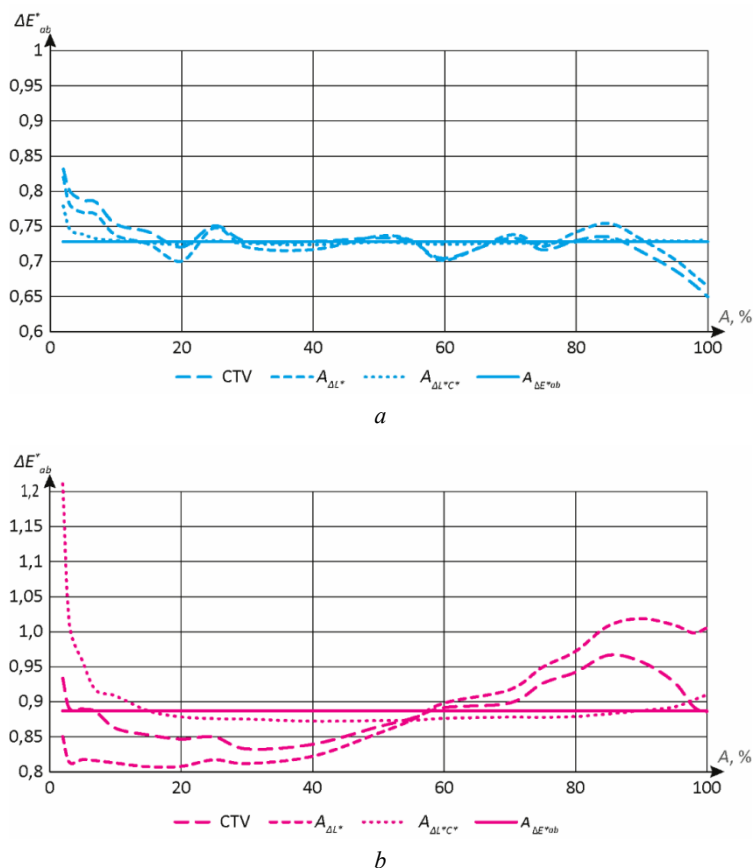


Рис. 2. Разброс цветовых различий ΔE_{ab}^* на 1 % значения тона триадных красок (FOGRA39): а – голубая; б – пурпурная

Fig. 2. Variation of colour differences ΔE_{ab}^* per 1% tone value of process colours (FOGRA39): a - cyan; b - magenta

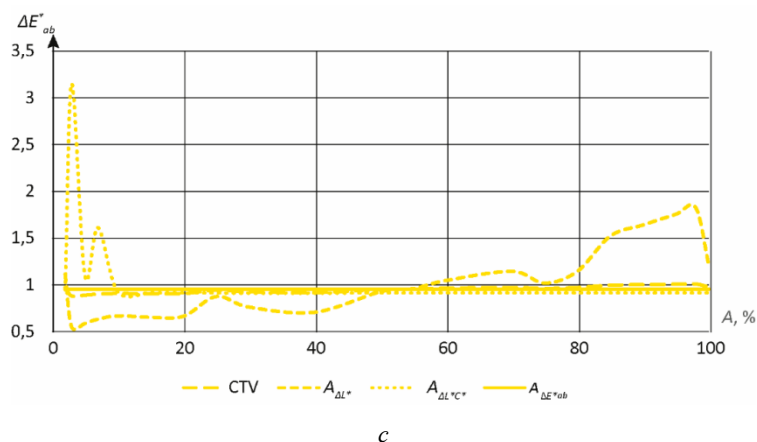


Рис. 2 (окончание): с – желтая

Fig. 2 (continued): c -yellow

Таблица 1. Оценка разброса цветовых различий ΔE_{ab}^* на 1 % значения тона триадных красок CV, %Table 1. Estimation of the variation of colour differences ΔE_{ab}^* per 1% of the tone value of process colours CV, %

Краска / Colour	CTV	$A_{\Delta L^*}$	$A_{\Delta L^* C_{ab}^*}$	$A_{\Delta E_{ab,p}^*}$	$A_{\Delta E_{ab,sp}^*}$	$A_{\Delta E_{ab,t(t+1)}^*}$
С	5,7	4,7	1,6	0,3	0,1	0,0
М	4,4	9,3	8,4	1,3	0,5	0,0
У	4,2	38,3	71,7	0,1	0,1	0,0
К	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Практически нулевой разброс, т. е. цветовые различия на 1 % равны между собой, получился для значения тона по CIELAB цветовому различию между тонами.

В таблице 2 приведены аналогичные коэффициенты вариации CV для значений тона по CIEDE2000 цветовому различию с бумагой, с бумагой и плашкой и между тонами.

Таблица 2. Оценка разброса цветового различия ΔE_{00} на 1 % значения тона триадных красок CV, %Table 2. Estimation of the variation of colour differences ΔE_{00} per 1% of the tone value of process colours CV, %

Краска / Colour	$A_{\Delta E_{00,p}}$	$A_{\Delta E_{00,sp}}$	$A_{\Delta E_{00,t(t+1)}}$
С	8,7	5,6	0,0
М	14,4	11,8	0,0
У	24,6	10,1	0,0
К	23,0	10,6	0,0

На рисунке 3 приведены цветовые различия CIEDE2000 на 1 % равноконтрастных по цветовому различию CIELAB и CIEDE2000 значений тона, что сути позволяет сравнить эти два вида цветовых различий на примере тонов триадных красок.

Анализ данных на рисунках 2, 3 и в таблицах 1, 2 позволяет сделать следующие выводы.

1. Для хроматических красок наибольшую точность в расчете равноконтрастных тонов показали формулы расчета значения тона по CIELAB цветовому различию: между тонами ($CV = 0,0\%$), с бумагой и плашкой ($CV \leq 0,5\%$) и с бумагой ($CV \leq 1,3\%$).

2. У красочных значений тона CTV наблюдаются существенные отклонения от равноконтрастности, особенно в светах и тенях, для хроматических красок ($CV \leq 5,7\%$).

3. Светлота и светлосыщенность плохо подходят для оценки тонов пурпурной краски ($CV \leq 9,3\%$ и $CV \leq 8,4\%$ соответственно) и особенно желтой краски ($CV \leq 38,3\%$ и $CV \leq 71,7\%$ соответственно), сильный разброс наблюдается для светов и теней (см. рис. 2). В светах за счет цвета бумаги происходит резкое изменение цветового тона, которое не учитывается при расчете красочного тона по светлоте и светлосыщенности. Дополнительно у желтой краски насыщенность падает примерно до тона 3 %, а затем за счет цвета бумаги снова начинается увеличиваться, что приводит к сильным колебаниям (см. рис. 2, с).

4. Для черной краски для расчета равноконтрастных тонов подходят все приведенные формулы (см. табл. 1), в том числе по светлоте.

5. В качестве равноконтрастной величины прием значение тона по CIELAB цветовому различию между тонами (16). Значение тона по CIELAB цветовому различию с бумагой и плашкой (17) и с бумагой (15) показывают приемлемую точность расчета по трем измерениям (тона, бумаги и плашки) и могут быть использованы на практике.

7. Для расчета равноконтрастных тонов по CIEDE2000 подходит только формула (19). Формулы (18) и (20), основанные на трех измерениях (тона, бумаги и плашки), дают существенные ошибки ($CV \leq 24,6\%$ и $CV \leq 11,8\%$ соответственно) для возможности их применения на практике.

8. Для хроматических красок, равным цветовым различиям по ΔE_{ab}^* соответствуют неравные цветовые различия ΔE_{00} , которые экспоненциально убывают от светов к тням (см. рис. 3, а–с).

9. Для черной краски равным цветовым различиям по ΔE_{ab}^* соответствуют также неравные цветовые различия ΔE_{00} , которые экспоненциально растут примерно до 70 % и затем начинают падать (см.

рис. 3, d). Если считать, что цветовое различие CIEDE2000 больше соответствует восприятию, то ставится под сомнение известная формула (12) обратной кубической зависимости, связывающей светлоту и световую яркость.

Таким образом, в качестве равноконтрастной величины для дальнейших исследований примем параметр значения тона по CIELAB цветовому различию между тонами.

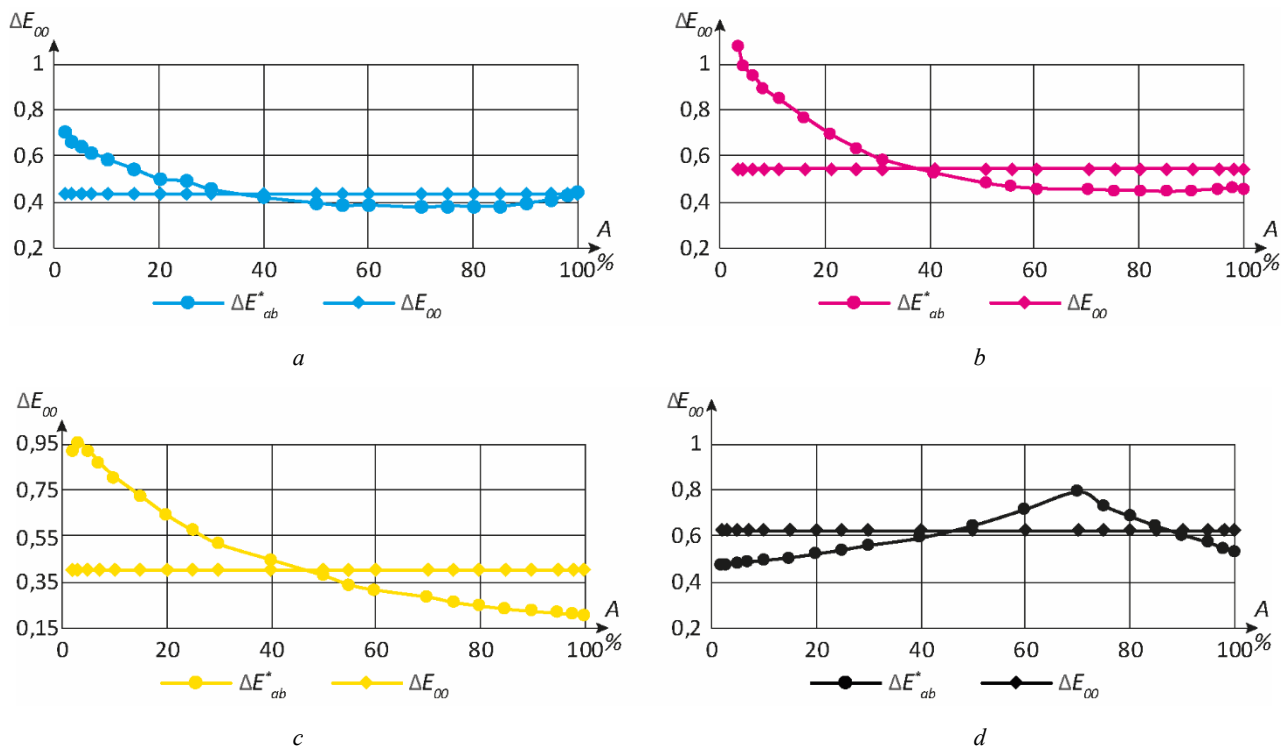


Рис. 3. Цветовое различие CIEDE2000 между равноконтрастными по цветовому различию CIELAB тонами триадных красок (FOGRA39): а – голубая; б – пурпурная; с – желтая; d – черная

Fig. 3. CIEDE2000 colour difference between perceptually uniform tone value by CIELAB colour difference of process colours (FOGRA39): a – cyan; b – magenta; c – yellow; d - black

Оценка равноконтрастности величин, связанных с красочными тонами. Для оценки равноконтрастности выберем следующие величины: зональный коэффициент отражения R (линейная зависимость от светового или одного из цветовых стимулов) и зональную оптическую плотность D (логарифмическая зависимость от светового или одного из цветовых стимулов), светлоту CIE L^* (обратная кубическая зависимость от светового стимула), красочное значения тона CTV (обратная кубическая зависимость от трех цветовых стимулов). Исследование проведено на эталонных спектральных и колориметрических данных профилирования офсетной печати FOGRA51_Spectral и FOGRA51 (<https://www.color.org/chartdata>). Методика расчета этих величин и их параметра значения тона приведена выше, также как методика сравнения с принятой выше равноконтрастной величиной – значением тона по CIELAB цветовому различию между тона-

ми. Все величины и параметры, в том числе принятый для сравнения, относятся к одним и тем же полям градиционных шкал триадных красок, и поэтому на результат их сравнение не влияют искажения условий печати.

На рисунке 4 приведены кривые неравноконтрастности, в таблице 3 – неравноконтрастности δ_{max} для исследуемых величин.

Таблица 3. Неравноконтрастность δ_{max} величин тонов триадных красок, %

Table 3. Perceptual non-uniformity δ_{max} of quantity of process colours tones, %

Краска / Colour	R	D	L	CTV
С	-15,4	19,9	-1,0	-0,7
М	-17,7	18,9	-4,0	-2,6
Y	-19,1	13,8	-8,9	-1,0
К	-25,2	15,1	-0,1	-0,1

Дополнительно для оценки распределения тонов и различий между ними в светах, средних тонах и тенях приведены *цветовые различия* ΔE_{ab}^* на 1 %

значения тона исследуемых величин (рис. 5), кроме CTV, для которой такая оценка приведена на рисунке 2.

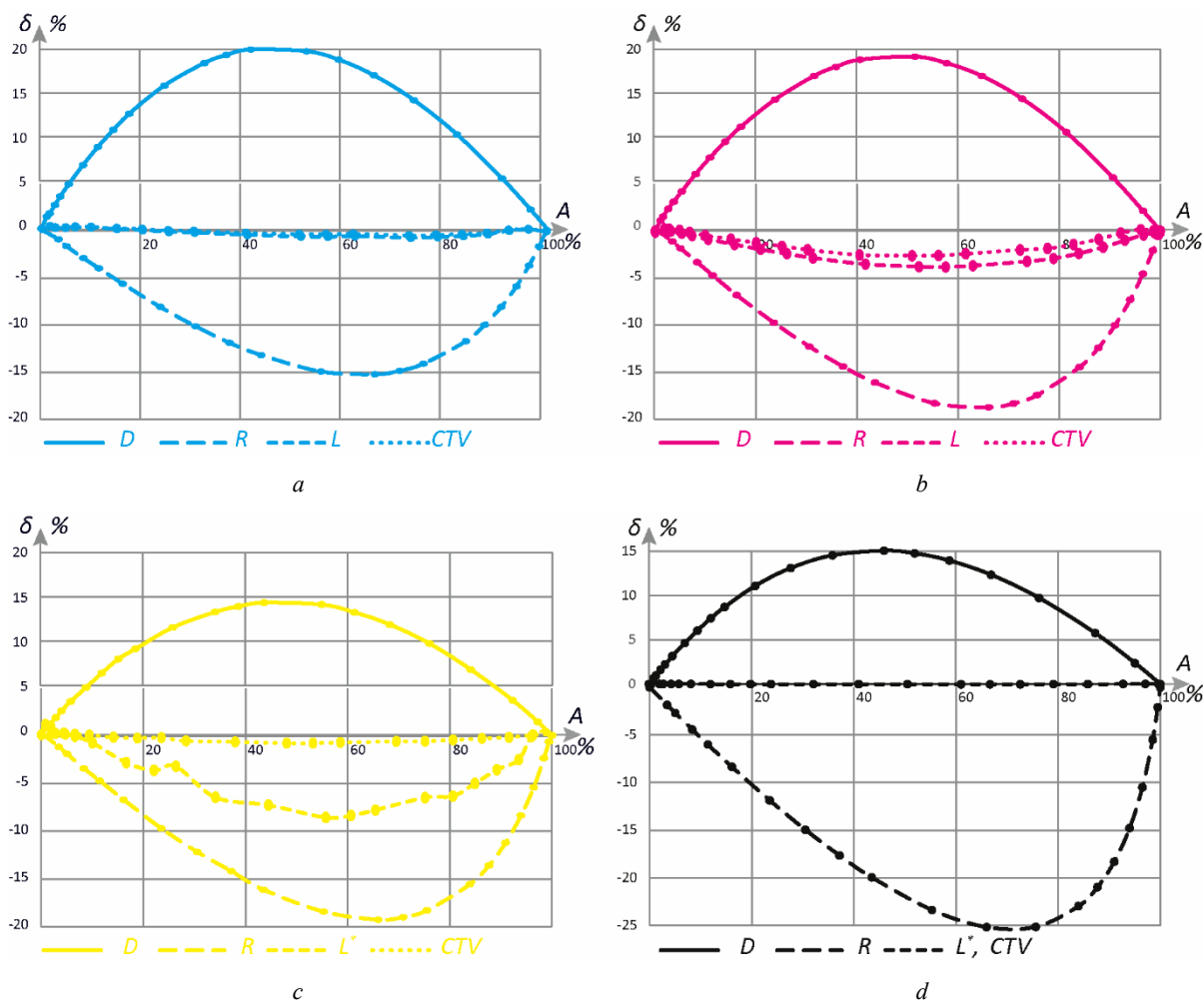


Рис. 4. Кривые неравноконтрастности исследуемых величин для тонов триадных красок (FOGR51):
a – голубая; b – пурпурная; c – желтая; d – черная

Fig. 4. Perceptual non-uniformity curves for the studied quantity for the tones of process colours (FOGR51):
a - cyan; b - magenta; c - yellow; d - black

Анализ данных на рисунках 4, 5 и таблицы 3 позволяет сделать следующие выводы.

1. Коэффициент отражения R и связанная с ним *линейная зависимость* от стимула (известная как *линейная тонопередача*) формируют сильно осветленные тона – зрительно воспринимаются светлее на 15...19 % для хроматических красок и до 25 % для черной краски. При этом в светах будет избыточное количество тонов с цветовым различием менее $0,5 \Delta E_{ab}^*$ на 1 %, а в тенях – недостаточное с цветовым различием до $4 \Delta E_{ab}^*$ на 1 %.

2. Оптическая плотность D и связанная с ними *логарифмическая зависимость* от стимула формируют сильно затемненные тона – зрительно воспринимаются темнее на 15...20 %. При этом в светах будет недостаточное количество тонов с цветовым различием до $1,5...2,5 \Delta E_{ab}^*$ на 1 %, а в тенях – избы-

точное количество с цветовым различием менее $0,5 \Delta E_{ab}^*$ на 1 %.

3. Светлота L^* и связанная с ней *обратная кубическая зависимость* от светового стимула является равноконтрастной величиной только для черной краски. Для хроматических красок формируются несколько осветленные тона (на 1 % для голубой, на 4 % для пурпурной и на 9 % для желтой). Цветовое различие незначительно увеличивается от светов к теням. В высоких светах и глубоких тенях хроматических красок наблюдается сильные отклонения в цветовых различиях между тонами, а для желтой краски сильные аномалии наблюдаются во всем диапазоне тонов см. (рис. 5, c).

4. Рекомендуемая ИСО как приблизительно равноконтрастная величина – *красочное значение тона CTV* (*обратная кубическая зависимость* от опорных цветовых стимулов) таковой является только для

черной краски. Для хроматических красок формируются несколько осветленные до 3 % тона. В светах и тенях хроматических красок наблюдается заметные отклонения в цветовых различиях между тонами (см. рис. 2).

Таким образом, коэффициент отражения (линейная функция) и оптическая плотность (логарифмическая функция) практически в равной мере

являются неравноконтрастными; светлота (обратная кубическая функция светового стимула) и красочное значение тона CTV (обратная кубическая функция цветовых стимулов) могут считаться равноконтрастными только для черной краски, а для хроматических красок дают существенные отклонения от равноконтрастности (в большей мере в светах и тенях).

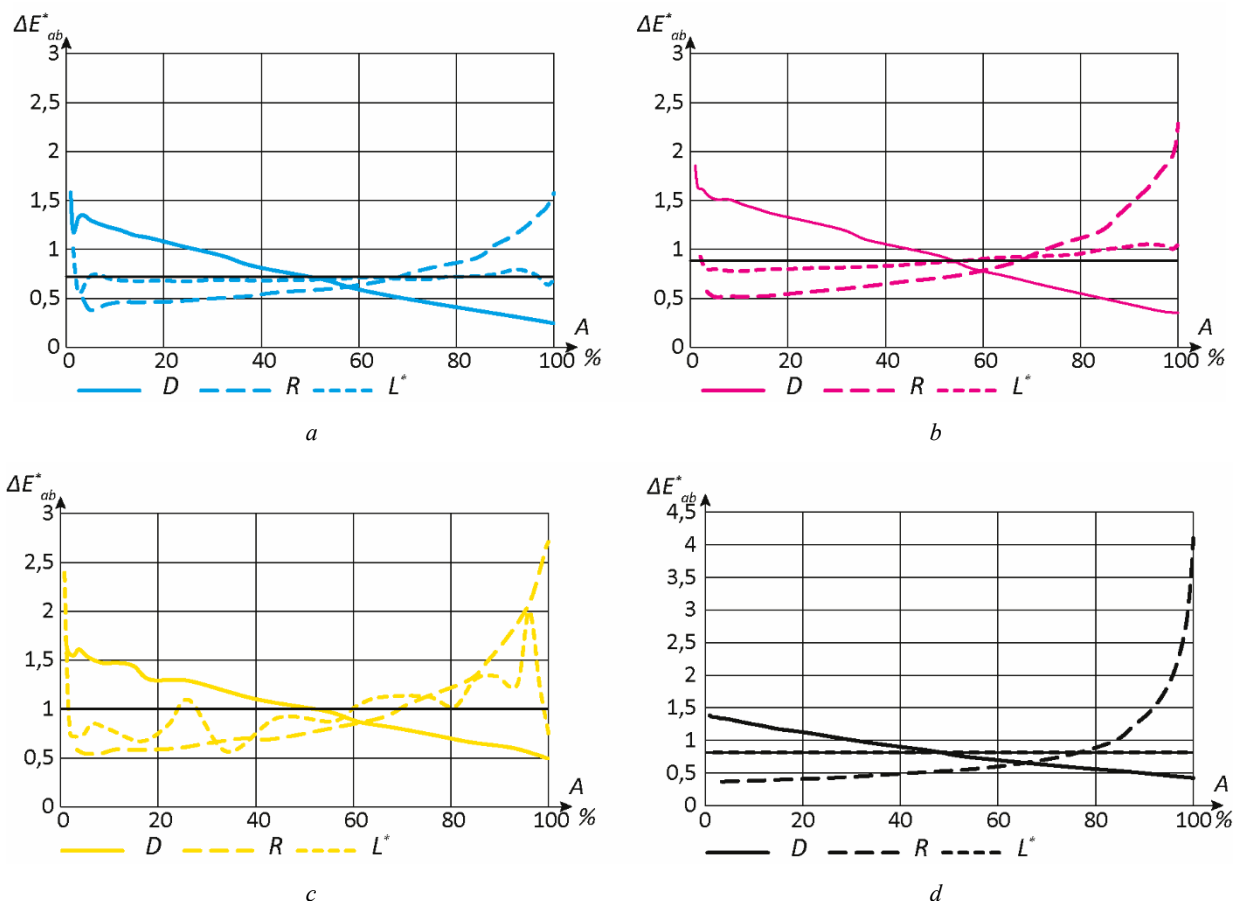


Рис. 5. Разброс цветовых различий ΔE_{ab}^* на 1 % значения тона исследуемых величин для тонов триадных красок (FOGRA51): а – голубая; б – пурпурная; с – желтая; д – черная

Fig. 5. Variation of colour differences ΔE_{ab}^* per 1% of the tone value of the studied quantities for the tones of process colours (FOGRA51): a - cyan; b - magenta; c - yellow; d - black

Визуализация градационных шкал триадных красок. При линейной тонопередаче значение тона на оттиске равно цифровому значению тона в файле, приращения значений тона равны нулю во всем диапазоне. При линейной тонопередаче значений тона по цветовому различию CIELAB или CIEDE2000 на оттиске получим равноконтрастные тона по соответствующему виду цветового различия. В отличие от линейной тонопередачи стандартные условия печати FOGRA39 включают все искажения процесса.

На рисунке 6 приведена визуализация градационных шкал триадных красок с полями от 0 до 100 % с шагом 10 % для линейной тонопередачи колориметрического значения тона TV (верхние ряды),

значения тона по цветовому различию CIEDE2000 (вторые сверху ряды); значения тона по цветовому различию CIELAB (третьи сверху ряды) в сравнении с градационной шкалой эталонных условий печати FOGRA39 (нижние ряды). Цвет полей шкал задан координатами цвета CIELAB, рассчитанными по методике, приведенной выше. Перед помещением в статью изображения преобразованы в цветовое пространство sRGB для просмотра на экране. Визуализация носит условный, сравнительный характер, так как невозможно учесть воспроизведение цвета в печатной или экранной версии этой статьи. Исследования методом экспертных оценок, которое обычно проводится в таких случаях, выходят за рамки этой статьи.

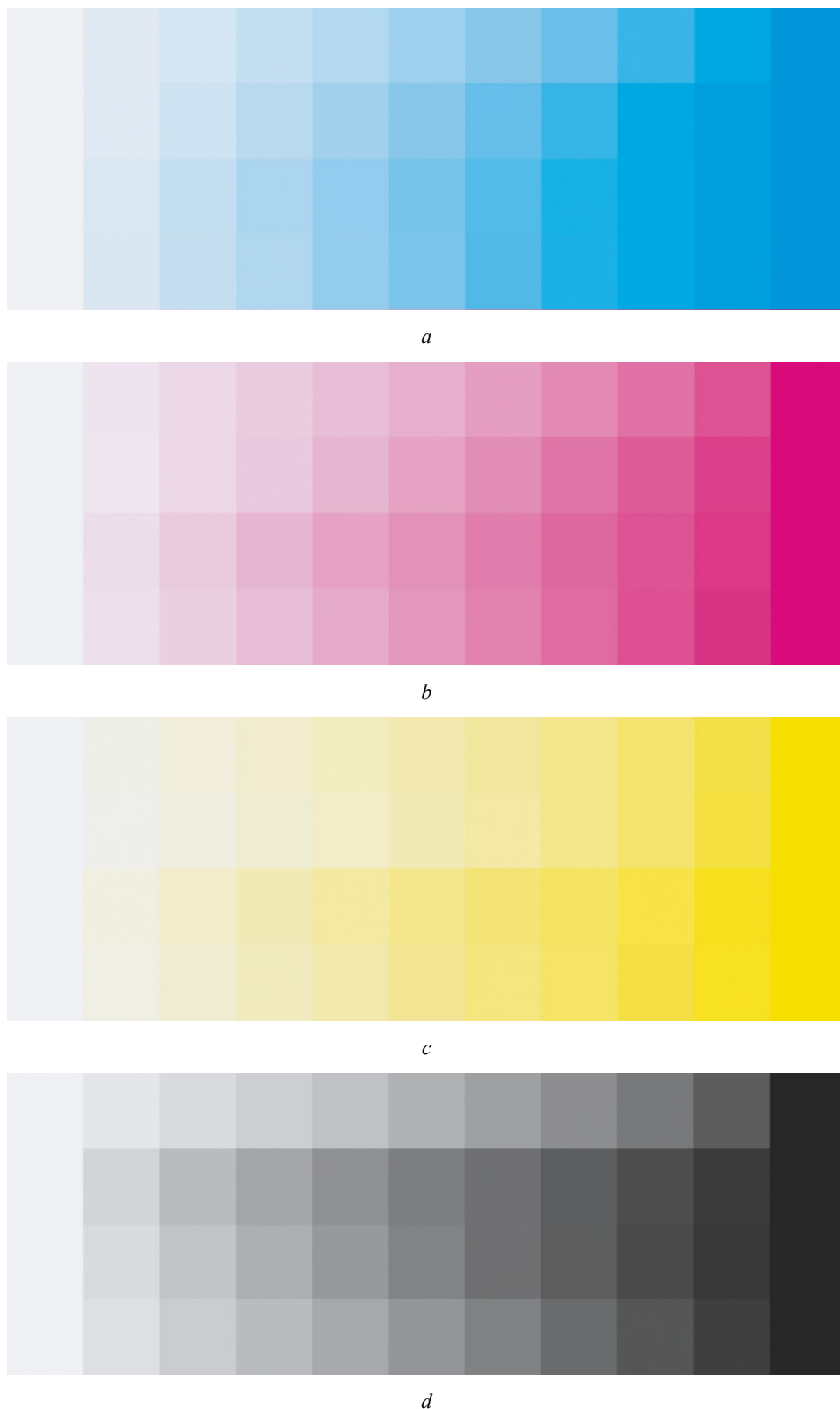


Рис. 6. Визуализация градационных шкал триадных красок: линейная тонопередача колориметрического значения тона (верхние ряды); равноконтрастные значения тона по цветовому различию CIEDE2000 (вторые сверху ряды); равноконтрастные значения тона по цветовому различию CIELAB (третьи сверху ряды); эталонные условия офсетной печати FOGRA39 (нижние ряды) для триадных красок: *a* – голубой, *b* – пурпурной, *c* – желтой, *d* – черной

Fig. 6. Visualization of process colours gradation scales: linear tone rendering of colorimetric tone value (upper rows); uniform tone values by the CIEDE2000 colour difference (second rows from the top); uniform tone values by the CIELAB colour difference (third rows from the top); FOGRA39 offset printing reference conditions (lower rows) for process colours: *a* – cyan, *b* – magenta, *c* – yellow, *d* – black

На основе визуальной субъективной оценки цифровой цветопробы с градационными шкалами под нормированным освещением, сделаны следующие выводы:

1. При линейной тонопередаче *колориметрического (денситометрического) значения тона* (рис. 6, верхние ряды) поля градационных шкал для голубой, пурпурной и черной красок выглядят сильно осветленными, различие между полями усиливается к теням. Для желтой краски наблюдается достаточно равномерное изменение цвета полей градационной шкалы, поля различимы почти во всем диапазоне.

2. Для *равноконтрастных по цветовому различию CIEDE2000* тонов (рис. 6, вторые сверху ряды) для голубой и пурпурной краски наблюдается достаточно равномерное изменение цвета между полями градационной шкалы. Однако для желтой краски поля выглядят сильно осветленными, поля в светах практически сливаются; для черной краски, наоборот, поля выглядят сильно затемненными.

3. Для *равноконтрастных по цветовому различию CIELAB* тонов (третьи сверху ряды рис. 6) для хроматических красок цвета поля лишь незначительно темнее эталонных условий печати FOGRA39. Для желтой краски поля в средних тонах и тенях сливаются, а для черной краски наблюдается достаточно равномерное изменение цвета полей градационной шкалы.

4. Для эталонных условий офсетной печати FOGRA39 (нижние ряды рис. 6) поля шкал для хроматических красок выглядят затемненными с большей разницей в светах и меньшей в тенях (у желтой краски поля в тенях начинают сливаться). Для черной краски, наоборот поля выглядят осветленными, различия между полями увеличиваются к теням.

Таким образом, при визуальной оценке тонов триадных красок сложно выделить одну величину, которую можно считать равноконтрастной: для голубой и пурпурной краски таковой кажется *значение тона по цветовому различию CIEDE2000*, для желтой краски – *линейная тонопередача*, для черной краски – *значение тона по цветовому различию CIELAB*.

Заключение и выводы

1. Оценить равноконтрастность величины, связанной с красочными тонами, можно по отклонению ее параметра – *значения тона* от линейной зависимости с *принятой равноконтрастной величиной*. Предложены следующие оценки: *неравноконтрастность* δ_{\max} и *кривая неравноконтрастности* $\delta(A)$.

2. Оценить равноконтрастность величины, связанной с красочными тонами, можно также по *цветовому различию CIELAB* или *CIEDE2000* на 1 % *значения тона* графическим методом, с помощью коэффициента вариации *CV*, а также визуальной оценкой градационных шкал с равным шагом значения тона между полями.

3. Практически равные *цветовые различия на 1 % значения тона* показали два параметра: *значение тона по цветовому различию между тонами по*

CIELAB или *CIEDE2000*. Однако второй параметр не может быть использован на практике из-за существенных ошибок, так как цветовые различия между тоном, бумагой и плашкой не являются малыми. Поэтому за равноконтрастную величину принято *значение тона по цветовому различию CIELAB*, все три формулы расчета которого (*по цветовому различию между тонами, по отношению к бумаге и плашке, по отношению к бумаге*) показали достаточную для практики точность.

4. *Светлонасыщенность* плохо подходит для получения и оценки равноконтрастных тонов пурпурной и желтой красок из-за неучтенного изменения цветового тона. Особенно сильные отклонения наблюдается в светах, где из-за цвета бумаги резко изменяется цветовой тон и растет насыщенность.

5. *Коэффициент отражения R (линейная тонопередача, линейная зависимость от стимула)* формируют тона с сильным осветлением, избыточным количеством в светах и недостаточным количеством с резкими границами в тенях.

6. *Оптическая плотность D (логарифмическая зависимость от стимула)* формируют тона с сильным затемнением, недостаточным количеством с резкими границами между тонами в светах и с избыточным количеством в тенях.

7. *Светлота (обратная кубическая зависимость от светового стимула)* является равноконтрастной величиной только для черной краски. Для хроматических красок формируются несколько осветленные тона (на 4...9 % для пурпурной и желтой красок). В светах и тенях хроматических красок наблюдается сильное отклонения в цветовых различиях между тонами, а для желтой краски сильные аномалии наблюдаются во всем диапазоне тонов.

8. Равноконтрастные величины должны учитывать все характеристики зрительного восприятия: светлоту, насыщенность и цветовой тон.

9. *Красочное значение тона CTV (обратная кубическая зависимость от световых стимулов)* является равноконтрастной величиной только для черной краски. Для хроматических красок формируются осветленные до 3 % тона с заметными отклонениями от равноконтрастности в светах и тенях.

10. Визуальная оценка градационных шкал с *линейной тонопередачей, равноконтрастными тонами по CIELAB* и *CIEDE2000* *цветовым различиям* в сравнении с условиями печати FOGRA39 не позволила выявить одну величину, равноконтрастную для всех триадных красок.

11. Так как *равноконтрастные тона*, рассчитанные на основе *значения тона по CIELAB* *цветовому различию*, оказались наиболее точными (по этому виду цветового различия), могут быть оценены по измерениям только трех полей, ближе всего к стандартным условиям печати (потребуется меньшая коррекция), то именно они могут быть рекомендованы в качестве эталонных для различных условий печати.

Таким образом, *цветовые различия CIELAB* и *CIEDE2000* опровергают традиционное представ-

ление о равноконтрастности *оптической плотности* и *светлоты* для триадных красок (такие величины должны учитывать все характеристики цветового восприятия), ставят под сомнение точность продвигаемого ИСО *красочного значения тона CTV* и сами лучше всего подходят для расчета и оценки равноконтрастных тонов. Однако и они не позволяют получить тона триадных красок, однозначно оцениваемые как равноконтрастные. Проведенные исследования ставят под сомнение, что общепринятые математические модели, основанные на обратной кубической зависимости восприятия света и цвета от светового или опорных цветовых стимулов, на равноконтрастном цветовом пространстве CIELAB или цветовом различии CIEDE2000 описывают с достаточной точностью связь между зрительным восприятием и стимулами для тонов триадных красок.

Вопрос, какую пользу принесет в полиграфии применение равноконтрастных тонов, остается открытым и требует дальнейших исследований до принятия этой концепции в стандартах и внедрения ее в полиграфическое производство.

Библиографические ссылки

1. Севрюгин 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
2. Сартаков М. Кот Шрёдингера и проект офсетного стандарта: Проект ISO 12647-2:2025 глазами технолога-колориста. М., 2026. URL: <https://printdaily.ru/traditsionnyj-ofset/kot-shryodingera-i-proekt-ofsetnogo-standarta> (дата обращения: 03.05.26).
3. Кузнецов Ю. В. Основы технологии иллюстрационной печати. СПб. : Российская культура, 2016. 440 с. ISBN 978-5-905618-04-8
4. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. М. : Книга, 1986. 280 с.
5. Jürgen Gemeinhardt (2025) Process Standard Flexo (PSF). Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V.: Aschheim near Munich, Germany, 2025. URL: <https://fogra.org/en/certify/packaging-finishing/psf> (дата обращения: 3rd May 2026).
6. ISO/TS 10128: 2023 Graphic technology - Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data.
7. 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.
8. Kuznetsov Yu.V., Schadenko A.A., Vaganov V.V. (2020) Tone reproduction curve: rendering intents and their realization in halftone printing. *Journal of Graphic Engineering and Design*, vol. 11 (2), pp. 47-59.
9. Birkett W.B., Spontelli C. (2018) Optimal Tone Reproduction Curves For Color Printing. TAGA 2018 Annual Technical Conference, pp. 203-226. URL: <https://www.printing.org/taga-abstracts/t180203> (дата обращения: 03.05.26).
10. International Color Consortium (ICC), CMYK Characterization Data Registry. URL: <https://www.color.org/chardata> (дата обращения 03.05.26)
11. ISO 12647-2: 2004/Amd.1:2007 Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes. AMENDMENT 1

12. ISO 12647-2: 2013 Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

13. 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.

14. ISO 12642-2:2006 Graphic technology: Input data for characterization of 4-colour process Printing. Part 2: Expanded data set.

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

16. Murray A. (1936) Monochrome reproduction in photoengraving, *Journal of the Franklin Institute*, vol. 221, iss. 6, pp. 721-744.

17. Шеберстов В. И. Количественные соотношения характеристик позитива и негатива, необходимые для нормального воспроизведения оригинала в автотипном процессе : сборник научных трудов НИИ ОГИЗ. М. : ОГИЗ, 1936. Вып. 3. 46 с.

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

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

20. IEC 61298-2:2008 Process measurement and control devices: General methods and procedures for evaluating performance. Part 2: Test.

References

1. 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.).
2. Sartakov M. (2026) *Kot Shryodingera i proekt ofsetnogo standarta: Proekt ISO 12647-2:2025 glazami tekhnologakolorista* [Schrödinger’s cat and the draft offset standard: Draft ISO 12647-2:2025 through the eyes of a color technologist]. Moscow: 2026. Available at: <https://printdaily.ru/traditsionnyj-ofset/kot-shryodingera-i-proekt-ofsetnogo-standarta> (accessed: 03.05.2026) (in Russ.).
3. Kuznetsov Yu.V. (2016) *Osnovy tekhnologii illyustratsionnoj pechati* [Basic of illustrative printing technology]. Saint Petersburg: Russian Culture Publishing, 440 p. ISBN 978-5-905618-04-8 (in Russ.).
4. Shashlov B.A. (1986) *Cvet i cvetovosproizvedenie* [Color and color reproduction]. Moscow: Kniga Publishing, 280 p. (in Russ.).
5. Jürgen Gemeinhardt (2025) Process Standard Flexo (PSF). Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V.: Aschheim near Munich, Germany, 2025. Available at: <https://fogra.org/en/certify/packaging-finishing/psf> (accessed: 03.05.2026).
6. ISO/TS 10128: 2023 Graphic technology: Methods of adjustment of the colour reproduction of a printing system to match a set of characterization data.
7. 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.
8. Kuznetsov Yu.V., Schadenko A.A., Vaganov V.V. (2020) Tone reproduction curve: rendering intents and their realization in halftone printing. *Journal of Graphic Engineering and Design*, vol. 11 (2), pp. 47-59.
9. Birkett W.B., Spontelli C. (2018) Optimal Tone Reproduction Curves For Color Printing. TAGA 2018 Annual Technical Conference, pp. 203-226. Available at: <https://www.printing.org/taga-abstracts/t180203> (accessed: 03.05.26).

10. International Color Consortium (ICC), CMYK Characterization Data Registry. Available at: <https://www.color.org/chardata> (accessed: 03.05.2026).

11. ISO 12647-2: 2004/Amd.1:2007 Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes. AMENDMENT 1

12. ISO 12647-2: 2013 Graphic technology: Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.

13. 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.

14. ISO 12642-2:2006 Graphic technology: Input data for characterization of 4-colour process Printing. Part 2: Expanded data set.

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

16. Murray A. (1936) Monochrome reproduction in photo-engraving. *Journal of the Franklin Institute*, vol. 221, iss. 6, pp. 721-744.

17. Sheberstov V.I. (1936) *Kolichestvennye sootnosheniya harakteristik pozitiva i negativa, neobhodimye dlya normal'nogo vosproizvedeniya originala v avtotipnom processe* [Quantitative ratios of positive and negative characteristics necessary for normal reproduction of the original in the auto-type process]. Scientific works of the Research Institute of OGIZ. Moscow: OGIZ, Iss. 3, 46 p. (in Russ.).

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

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

20. IEC 61298-2:2008 Process measurement and control devices: General methods and procedures for evaluating performance. Part 2: Test.

Perceptually Uniform Quantities in Graphic Technology

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

The latest versions of ISO graphic technology standards recommend using approximately uniform "colour tone values" (CTV) related to reference colour stimuli by an inverse cubic function to control colour reproduction in printing. These recommendations have sparked discussions about the concept and term "tone value", which until now in Russia has been associated only with the "dot area" of halftone elements, and the concept of "perceptual uniformity", which has traditionally been associated with a logarithmic or inverse cubic relationship between the perception of lightness and the light stimulus. Currently, the generally accepted assessments of differences between colours in graphic technology are the CIELAB and CIEDE2000 colour differences, on the basis of which the author proposed formulas for calculating «uniform tone values». The article proposes a method for assessing the uniform-contrast values associated with printing tones, based on the deviation from a linear relationship with the accepted uniform-contrast value. The value adopted for this purpose is the "tone value by CIELAB colour difference", which provides practically uniform colour differences between tones. A technique for visualizing single colour scales with linear tone rendering of different types of tone values is proposed. The research was carried out using reference characterization data sets for offset printing on coated paper FOGRA39 and FOGRA51. The research showed that "optical density" and "lightness" are not uniform-contrast values for process colours (such values must take into account all characteristics of visual perception), "colour tone values" CTV have significant deviations from uniform-contrast, and the calculation and evaluation of uniform-contrast tones is most accurately carried out on the basis of the CIELAB and CIEDE2000 colour differences themselves. However, they also do not allow one to obtain tones of process colours that can be clearly assessed as uniform-contrast. The research cast doubt on the fact that generally accepted mathematical models based on the inverse cubic dependence of the visual perception of light and colour on light or reference colour stimuli, on the uniform CIELAB colour space or the CIEDE2000 colour difference, describe the relationship between visual perception and stimuli with sufficient accuracy for the tones of process colours.

Keywords: tone value, colour tone value CTV, single colour scale, reference colour stimuli, colour, perceptual uniformity, colour difference.

Получено 04.05.2026

Образец цитирования

Сеvрюгин В. Р. Равноконтрастные величины в полиграфии // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2026. Т. 29, № 2. С. 54–67. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-54-67

For Citation

V.R. Sevryugin (2026) [Perceptually Uniform Quantities in Graphic Technology]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 29, no. 2, pp. 54-67. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-54-67 (in Russ.).