

СМЫСЛ И МЕТРИКИ «ЗНАЧЕНИЯ ТОНА» В ТЕХНОЛОГИИ И СТАНДАРТАХ ПЕЧАТИ

Ю. В. Кузнецов¹, С. П. Гнатюк², П. О. Яковлев³✉

¹ Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения,
Россия, 192102, г. Санкт-Петербург, ул. Бухарестская, 22

² Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18

³ Академия управления городской средой, градостроительства и печати,
Россия, 195273, г. Санкт-Петербург, ул. Руставели, 33А

✉ pressman1985@inbox.ru

С начала 1990-х гг. прошлого века Техническим комитетом «Технология полиграфии» было разработано и обновлено несколько десятков отраслевых стандартов. Практически каждый из них начинался со списка определений специфическим для данного документа терминам.

К настоящему времени в этой серии стандартов накопилась дюжина вариантов весьма неоднозначных толкований понятия *значение тона* — базового для автотипной печати параметра. Это создает проблему адекватной трансляции международных стандартов и обуславливает актуальность анализа сложившихся к настоящему времени разноречивых интерпретаций, а также выявления сущностных свойств данного термина. В связи с этим понятие и параметр «значение тона» рассматривается в историческом контексте совершенствования моделей иллюстрационной печати, с учетом многостадийного характера этого процесса, а также в свете решения проблем цветовой коммуникации в современной открытой и разомкнутой допечатной информационной среде.

В статье экспериментально и аналитически показана необходимость более выверенных по своей метрике интерпретаций и определений версий этого параметра по отношению к стимулу, например, яркости Y колориметрической метрики XYZ Международной комиссии по освещению, или к мере ощущения такого воздействия — светлоте L из Lab Международной комиссии по освещению. Установлен факт неуместного, присущего стимулу процентного выражения для такого перцептуального параметра, как цветное значение тона (Color Tone Value), что важно учесть в разработке версий отечественных стандартов на основе уже существующих международных регламентов.

Ключевые слова: раздражение, ощущение, метрика, светлота, яркость, растровое изображение, управление цветом, стандартизация

Для цитирования: Кузнецов Ю. В., Гнатюк С. П., Яковлев П. О. Смысл и метрики «значения тона» в технологии и стандартах печати. *Омский научный вестник*. 2026. № 2 (198). С. 13–21. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-13-21>. EDN: NVKCJM.



© Кузнецов Ю. В., Гнатюк С. П., Яковлев П. О., 2026.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

MEANING AND METRICS OF THE "TONE VALUE" IN PRINTING TECHNOLOGY AND STANDARDS

Yu. V. Kuznetsov¹, S. P. Gnatyuk², P. O. Yakovlev³✉

¹ Saint Petersburg State University of Film and Television,
Bukharetskaya St., 22, Saint Petersburg, 192102, Russia

² Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Bol'shaya Morskaya St., 18, Saint Petersburg, 191186, Russia

³ Academy of Urban Management, Planning and Printing,
Rustaveli St., 33A, Saint Petersburg, 195273, Russia

✉ pressman1985@inbox.ru

Since the early 1990s, the ISO Technical Committee for Graphic Technology has developed and updated several dozen industry standards. Almost every one of them begins with a list of definitions for terms specific to the document.

To date, the series of standards accumulate a dozen variants of very ambiguous interpretations of the concept of tone value, which is the basic parameter for autotypic printing. It creates a problem of adequate translation of international standards and determines the relevance of the analysis of the currently existing contradictory interpretations, as well as the identification of the essential features of this term. In this regard, the concept and parameter "tone value" is considered in the historical context of improving models of illustration printing, considering the multi-stage nature of this process, as well as in solving the problems of color communication in the modern open and unclosed information environment.

The article experimentally and analytically shows the need for more metric-adjusted interpretations and definitions of the parameter versions for a stimulus, for example, brightness Y of the XYZ colorimetric metric of the International Commission on Lighting, or to the extent of impact — lightness L from the Lab of the International Commission on Lighting. The authors establish the fact of an inappropriate percentage expression inherent in the incentive for such a perceptual parameter as the Color Tone Value, which is important for the development of versions of domestic standards based on existing international regulations.

Keywords: stimulus, perception, metrics, lightness, luminance, halftone, color management, standardization

For citation: Kuznetsov Yu. V., Gnatyuk S. P., Yakovlev P. O. Meaning and metrics of the "tone value" in printing technology and standards. *Omsk Scientific Bulletin*. 2026;2(198):13–21. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-13-21>. EDN: NVKCJM. (In Russ.).



© Kuznetsov Yu. V., Gnatyuk S. P., Yakovlev P. O., 2026.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Одобрив в 2024 г. проект новой версии стандарта офсетной печати 12647-2 (на момент подготовки статьи рассматривался документ ISO/DIS 12647-2:2023 [1]), находившийся на стадии международного обсуждения), разработанный Техническим комитетом (ТК) 130 «Технология полиграфии», представители стран — членов Международной организации по стандартизации, выдвинули к нему целый ряд замечаний общего, технического и редакционного характера [1]. По этой причине, а также в связи с необходимостью уточнения целевых значений нового метода калибровки «по цвету, близкому к ахроматическому» [2], ТК 130 временно приостановил продвижение проекта нового стандарта.

Подлежащие доработке вопросы, к сожалению, не затронули толкований в этом документе целого кластера версий термина *значение тона (tone value)*, касающегося важнейшего свойства автотипного изображения в настройке и калибровке печати. По мере появления новых и обновления уже имевшихся по этой части стандартов возникла потребность в более точных, а иногда и разных по своей

сути и метрике, трактовках этого термина. На данный момент в документах ТК 130 накопилась дюжина дополнительных введенных или изменявшихся от редакции к редакции вариантов:

- значение тона (данные), цифровое значение тона;
- значение тона (печать), значение печатного тона;
- значение тона (денситометрическое);
- прирост значения тона (Tone Value Increase TVI);
- значение тона (печатная форма), значение тона на пластине;
- значение тона (колориметрическое);
- цветное значение тона (Color Tone Value CTV);
- значение тона по цветовому различию;
- трехкрасочное (СМУ) почти нейтральное значение тона;
- близкое к нейтральному черному значение тона.

В проекте обновляемой ныне редакции была сделана попытка установить в этом кластере не-

кий порядок, подчинив частные термины основным с помощью индексации подпунктов в третьем разделе документа «Термины и определения». Тем не менее их смысл остался по ряду аспектов неопределенным, а толкование не всегда логичным, нуждающимся в некотором анализе, разъяснении, уточнении. Более того, возникают и некоторые проблемы адекватного перевода терминов при подготовке отечественных версий данной серии стандартов.

Решение перечисленных задач непосредственно связано с совершенствованием стандартизации параметров печатного процесса и разработкой корректных методов оценки качества печатной продукции. В соответствии с этим данная статья выполнена в рамках научной специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» и отвечает требованиям её паспорта по п. 2 (научно-практические основы стандартизации и управления качеством) — через анализ терминологии и метрик проекта международного стандарта ISO 12647-2, а также по п. 5 (методы оценки качества объектов и процессов управления качеством) — через сопоставление денситометрических и колориметрических методов оценки значения тона, прироста тона (*TVI*) и цветового значения тона (*CTV*).

Денситометрическая и колориметрическая калибровка

Согласно бинарному по своей сути принципу автотипного способа (есть краска/нет краски), меру тона на оттиске исторически принято оценивать относительно и выраженной в процентах площадью покрытия краской. Промежуточные серые градации, например, в черно-белой печати симулируются здесь аддитивным пространственным смещением частей черного растровых точек и белого незапечатанной бумаги — пробелов. В многокрасочной печати n красками, цветовые градации оценивают взвешенной суммой площадей 2^n участков, входящих на пробелы, единичные красочные слои и комбинации их наложений. По этой логике еще в 1932 г. Н. Д. Нюберг для имитации результирующего цвета в так называвшейся тогда «трехцветке» предложил временной аддитивный способ ее визуального моделирования на вращающемся диске Максвелла, разделенном в заданном для оттиска соотношении количества красок на восемь (2^3) разноцветных секторов [3].

Для монохромной печати ($n = 1$) Шеберстов и Мюррей независимо друг от друга предложили в 1936 году расчет оптической плотности растрового поля из занимаемой краской относительной площади. Их формула и поныне широко используется в денситометрическом варианте контроля и калибровки печати [4, 5].

По той же аналогии, т. е. с учетом сегментации микроструктуры оттиска на разноокрашенные участки, Нейгебауэр опубликовал в 1937 г. обобщенную модель, применимую к произвольному числу n красок и расчету цвета печати в различных метриках [6, 7].

Все эти поначалу чисто геометрические интерпретации со временем дополнялись и развивались с учетом влияния ряда побочных свойств и особен-

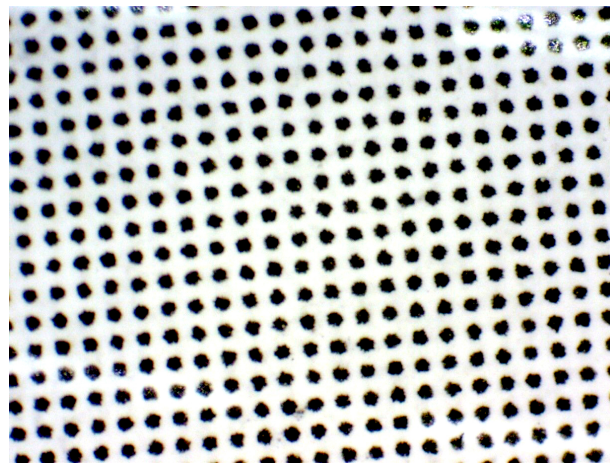


Рис. 1. Микрофотография растрового поля, визуально покрытого краской более чем на 12 %, но со значением 6,5 % по денситометрической оценке
Fig. 1. Microphotograph of the halftone tint with visual ink coverage over 12 % contrary to 6.5 % due to densitometric estimation

ностей взаимодействия красок, печатных подложек и освещения. Было предложено учитывать, в частности:

- захват рассеянного в пробеле света краем печатного элемента [8, 9];
- зависимость толщины красочного слоя от размера точек [10];
- сопутствующее этому изменение спектра отражения¹;
- многократное отражение света в запечатываемом материале [11];
- переменное по тоновому диапазону влияние цветности последнего на цвет растрового поля [12] и других факторов.

Исследования показали, что толщина красочной пленки на растровых точках резко уменьшается со снижением их площади от 70 %, что делает денситометрическую оценку их размера менее достоверной с переходом к более светлым градациям. Например, даже без учета так называемого оптического растаскивания расчет покрытия по Шеберстову — Мюррею при плотностях подложки 0,1 и сплошного слоя 1,55 дает значение 6,5 %, т. е. вдвое меньшее фактически наблюдаемого (рис. 1)¹. Дополнительные погрешности вносят и шумы процесса, ведущие к нестабильной пропечатке самых мелких точек и пробелов.

Традиционная денситометрическая калибровка была со временем дополнена колориметрическим вариантом. Обе продолжают оперировать парами понятий и параметров, которые в силу известных физиологических законов весьма нелинейно связаны друг с другом. Первые в этих парах относятся к стимулу или раздражению, воздействующему на зрение, а вторые — к реакции, ощущению этого воздействия. В денситометрии такую пару составляет коэффициент отражения и его отрицательный логарифм — оптическая плотность, тогда как в колориметрии аналогичные роли выполняют яркость, например, Y из XYZ и мера ее ощущения — светлота L из Lab. Но следует обратить вни-

¹ Emmel P. Physical models for color prediction. Chapter 3 in Digital Color Imaging. Handbook. Ed. by G. Sharma. CRC PRESS, 2003. 764 p.

Расчёт покрытия

денситометрический колориметрический
восприятие → стимул стимул → восприятие
(опт. плотность) (отражение) (яркость) (светлота)

Рис. 2. Противоположная смена метрик
в способах оценки по калибровочным шкалам
Fig. 2. Contrary metrics replacement
in the assessment methods on calibration scales

мание на то, что порядок использования этих параметров в данных методах как бы противоположен (рис. 2).

В первом способе на основе оптической плотности (восприятие) рассчитывают покрытие/поглощение (возбуждение), а в другом, напротив, на основе яркости Y (стимула) определяют нечто, называемое ныне *цветовым значением тона* — CTV и измеряемым в процентах, но в равноконтрастной, увязанной с восприятием метрике Lab Международной комиссии по освещению (МКО). В указанной дефиниции, склоняющейся к привычной *степени покрытия*, и скрывается принципиальное различие метрик в надежде на надежащий его учет программами обработки калибровочных кривых.

Тем не менее понятие *значение тона*, изначально относившееся к запечатываемой площади, так и остается обобщающим базовым параметром печатного изображения в серии стандартов ISO «Полиграфические технологии» с 1996 г. [13, 14].

Характеристики стадий и процесса

Воспроизведению градаций в автотипии присущее множество физико-механических и информационных преобразований, начиная от перехода свет — электрический сигнал при считывании/съемке оригинала/объекта и заканчивая возвратом от некоторого, не раз с той или иной целью измененного сигнала к количеству краски на оттиске. Каждой из таких стадий, как и всему процессу в целом, присуща нелинейная связь входных и выходных значений.

Характеристику передачи (вход/выход) каждого этапа оптимизируют по его собственному критерию. Например, при вводе изображения им может быть динамический диапазон сигнала. Для изготовления формы таким критерием, по большей части, служит однозначность переноса краски ее печатающими элементами на оттиск и тиражестойкость, а на конечной печатной стадии — интервал воспроизводимых плотностей и цветовой охват.

Однако в стандарте подобные критерии или удовлетворяющие им настройки процесса не оговариваются. Согласно своему названию, он «учит» лишь калибровке как приведению результата печати в соответствие некому цветовому профилю или к условиям, позволяющим создать и зарегистрировать новый выходной профиль. О некоторых настройках можно лишь косвенно судить по выбранному из множества комплектов *условий печати* (Printing Conditions — PC). Только подача краски однозначно задана по прописанным в таком условии цветовым значениям сплошных красочных слоев. Однако остальные важные параметры процесса стандарт не оговаривает, полагаясь на квалификацию и опыт печатника.

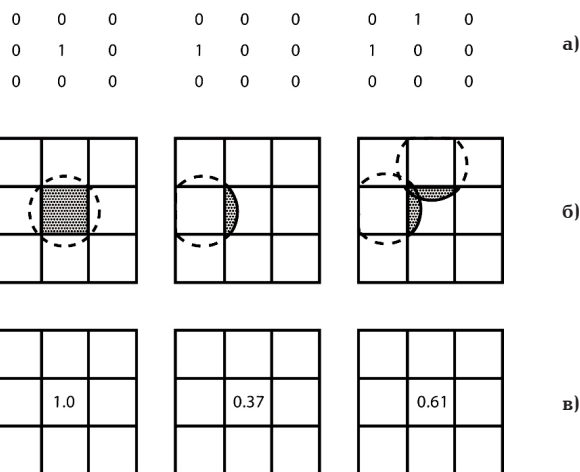


Рис. 3. Элемент копии частично окрашен, даже если это не предусмотрено в распечатываемом файле:

а) битовая карта; б) положение луча при записи;
в) значение тона на копии

Fig. 3. The copy element is partially colored, even if this is not provided for in the printed file: а) bit map; б) recording beam position; в) tone value on a copy

К указанным настройкам можно отнести давление в зоне контакта, объем и диапазон использования четвертой черной краски, установку уровней белого и черного [13]². Последние определяют важнейший из показателей качества изображения — его контраст, согласно которому только и может быть обоснован выбор линиатуры раstra для того или иного способа печати [15, 16].

От всех этих параметров процесса существенно зависит реально достижимый уровень показателей качества иллюстрационной печати. В отсутствие оптимизации по указанным критериям нельзя быть уверенным, что репродукционные возможности процесса, подлежащего калибровке на соответствие профилю, реализованы в полной мере. В этом смысле не помогает и ISO/TS 10128 IDT, в котором разъясняются лишь методы обеспечения соответствия цветовому профилю. Таким образом, появляется необходимость в еще одном стандарте, например, с названием «Оптимальная организация печатного процесса для его последующего профилирования или калибровки».

Задачу и результат печати выражает общая градационная кривая всего процесса (Tone Reproduction Curve — TRC), которая связывает значения тона в файле и на оттиске. Она вытекает из совокупности характеристик всех промежуточных стадий, что принято наглядно иллюстрировать диаграммами взаимосвязанных графиков, каждый из которых отображает передачу отдельного этапа [15]. Вопросы калибровки под такую кривую весьма актуальны в печатной практике и разработке стандартов для современной открытой и зачастую разомкнутой по отдельным стадиям репродукционной технологии [17].

Одним из главных параметров здесь служит прирост значения тона³ (Tone Value Increase — TVI), который можно представить суммой поэтапных разностей:

- значения тона (данные) и значения тона (печатная форма);
- значения тона печатной формы и доли ее покрытия краской;
- этой доли на форме и на оттиске.

Как показано на рис. 3, одну из причин нелинейности на первом из этапов можно объяснить несо-

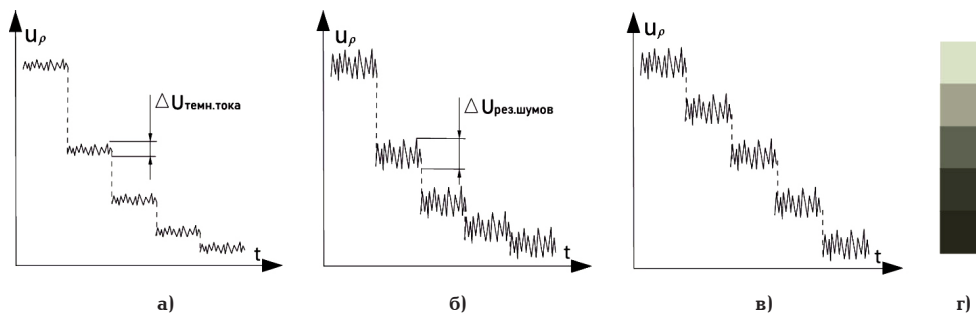


Рис. 4. Форма сигналов на выходе считывателя (а) для визуально равномерной ступенчатой шкалы (г) и к концу процесса: без (б) и с использованием (в) нелинейного преобразования исходного сигнала

Fig. 4. Signal waveform at the capturing device output (a) for the visually uniform step scale (г) and towards the end of the process: without (б) and with (в) nonlinear transformation of the original signal

ответствием формы квадратной ячейки исходной, ортогональной битовой карты и круглой или овальной апертуры луча, экспонирующего формную пластину [18].

Это несоответствие компенсируют так называемые линейаризации формы путем внесения соответствующих коррекций в управляющий сигнал [19]. Тем не менее в последующем переносе из раскатной системы на форму результирующее покрытие краской существенно превысит площадь ее печатающих элементов, как только соседние капли коснутся друг друга где-то в средних тонах. Силы поверхностного натяжения, до того сдерживавшие краску в менисках, меняют здесь свое действие на противоположное, способствуя ее затеканию в пробелы.

На последнем из этих трех этапов причины несоответствия исходного (на форме) и результирующего (на оттиске) значения в наибольшей степени обусловлены растискиванием и впитыванием краски в запечатываемый материал. Прирост тона усиливается еще и тем, что при постоянстве угла смачивания объем краски в менисках на форме растет быстрее их площади. Считается, например, что толщина слоя краски соответствует десятой части диаметра точки. Сдерживать этот рост сегодня пытаются, перфорируя растровые элементы точно или кольцами [20].

По особенностям указанных взаимодействий можно также судить и о том, что реальная кривая прироста тона, в отличие от некоей теоретической, исходит не из начала координат, а от значения минимальной, еще не «растиснутой» и едва перешедшей на подложку растровой точки — уровня белого. Заканчивается она там, где возникает сплошной слой, т. е. при исходном значении несколько меньшем, чем 100 %.

Положение экстремума и сама форма этой кривой зависят от конфигурации печатающего элемента (квадратный, круглый, эллиптический) и от геометрии раstra (нерегулярный, ортогональный, гексагональный, линейный). В последнем случае затеканию вообще нет места, поскольку при касании сразу образуется сплошной слой и правомерно предположить, что характеристика прироста тона здесь существенно отличается от тех, полиномы аппроксимации которым прописывают нынешние ISO стандарты без какого-либо указания на геометрию раstra и печатающего элемента [13, 14].

По этим же причинам установка натиска по такому денситометрическому параметру, как *контраст печати*, оцениваемому по формуле

$$K = 100 (D_s - D_{80}) / D_s, \quad (1)$$

где D_s и D_{80} — плотности сплошного красочного слоя и растрового поля только что коснувшихся друг друга точек, представляется пригодной лишь для точечных растровых структур оговоренной геометрии.

Преобразования сигнала изображения

Упомянутым выше преобразованиям зачастую сопутствует смена метрики данных. Например, еще в аналоговых сканерах сигнал сенсора, близкий по смыслу яркости или отражению/поглощению оригинала, сразу же логарифмировали с переходом к более информативным, увязанным с восприятием денситометрическим равноконтрастным значениям. Поскольку на выходе снова оперируют сигналом покрытия краской, который пропорционален поглощению, необходимость такого преобразования может показаться не очевидной.

В книге [15] на примере репродуцирования визуально равномерной ступенчатой шкалы (рис. 4г) это объясняется тем, что сигнал в размерностях, увязанных со зрительным восприятием, например, светлоты L в метрике Lab МКО или оптической плотности более устойчив к помехам.

Мощность последних возрастает к концу процесса, складываясь из шумов отдельных этапов. На выходе сенсора (рис. 4а) это лишь его «темновой» фототок, но к нему далее добавляются флуктуации r - n переходов электроники, шумы квантования аналого-цифрового преобразования и формирования печатающих элементов из микроточек (рис. 4б, в). Если сигнал не логарифмирован, то, как видно из рис. 4б, воздействие результирующих помех наиболее разрушительно, поскольку ступени как бы «тонут» в шумах лишь в одной части тонового диапазона. И, напротив, если сигнал приведен к равноконтрастным значениям еще в самом начале, когда шум еще мал, суммарные помехи равномерно распределяются по диапазону и их действие оказывается менее поражающим (рис. 4в).

Во избежание потерь информации при подобном нелинейном преобразовании полученный за красным, зеленым и синим фильтрами исходный сигнал кодируют десятью и более разрядами двоичного кода, т. е. со значительным запасом по числу уровней квантования по отношению к стандартному восьмиразрядному его представлению, например, в PDF/X файле. В сканере, оснащенном 30-битным аналого-цифровым преобразователем, каждый из поступающих аналоговых RGB-сигналов квантуется

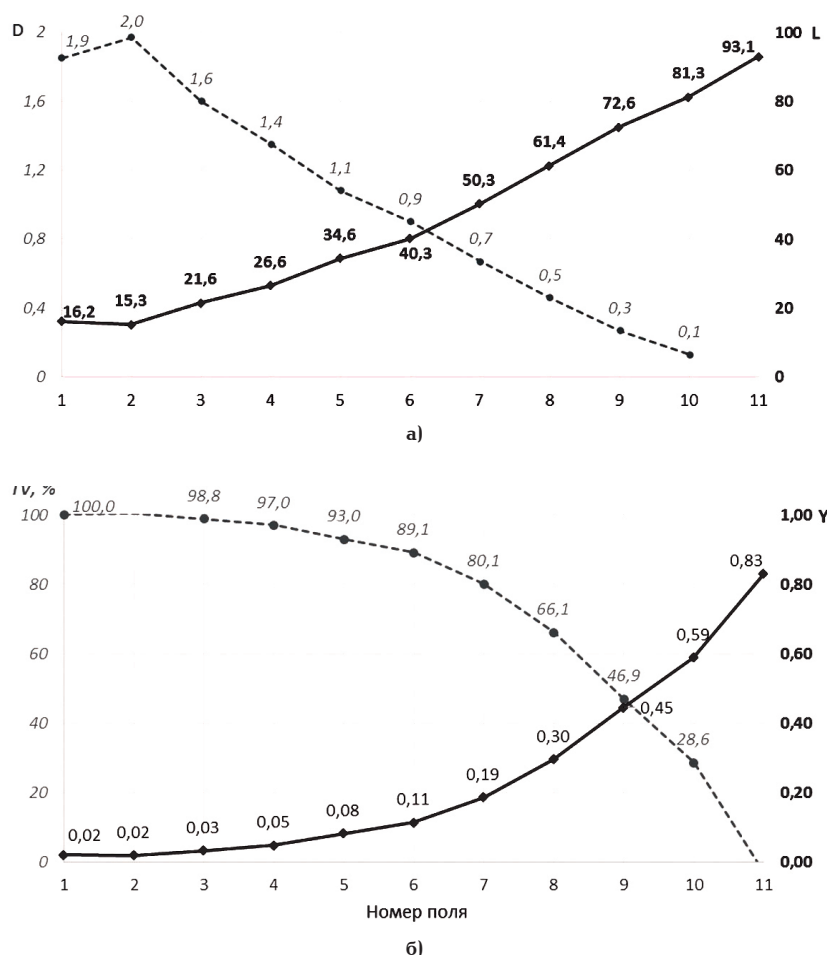


Рис. 5. Значения светлоты L по Lab МКО и оптической плотности распределены линейно по ступеням шкалы, отпечатанной через равные интервалы из файла PDF/X (а), но не площади точек TV или яркости Y (б)
Fig. 5. Lightness values L at the Lab of the International Commission on Lighting and an optical density are distributed linearly across the steps of a scale printed at equal intervals from a PDF/X file (a), but not the Tone Value or Y luminance (b)

по шкале $2^{10} = 1024$ уровней. Благодаря этому резерву на участке преобразования с градиентом 4/1 каждому из выходных восьмибитных значений соответствует хотя бы один уровень входного сигнала.

Актуальность перехода в равноконтрастную метрику возрастает с увеличением интервала яркостей объекта, поэтому считыватели могут оснащаться и 16-разрядным аналого-цифровым преобразователем по каждому цветовому каналу. Использование такого сигнала в допечатной программе позволяет без потерь производить необходимые нелинейные цветовые преобразования или устранять избыточность информации в векторном пространстве XYZ МКО до перехода в скалярную Lab метрику.

Обратное преобразование в сигнал количества краски обеспечивается в битовой карте драйвером принтера или в растровом процессоре за счет нелинейной связи между площадью печатного элемента и числом образующих ее микроточек.

«Значение тона» — мера зрительного стимула и его восприятия?

Термин значение тона обобщенно задан в пп. 3.3 проекта стандарта как *площадь покрытия* (area coverage) — отношение площади, покрытой

краской, к общей площади измеряемого участка. Напрямую это связано с коэффициентом поглощения или яркостью, воздействующей на зрение. Но, как уже упоминалось, ощущение связано с тем или иным типом раздражения весьма нелинейно.

Чтобы разрешить конфликт метрик в оценке поля контрольной шкалы, пп. 3.3.1 вводит понятие *apparent intensity*. Оно далее не встречается по тексту, а используется здесь же лишь как некий атрибут в последующих вариантах определения к обсуждаемому термину. Из-за отсутствия такого понятия в многоязычном словаре МКО² о его сути можно лишь косвенно судить по пояснениям и размерностям в этом же и следующих подпунктах проекта. Изначально в пп. 3.3.1 он поясняется такими принятыми в лексике МКО терминами, как *светлота* (*brightness, lightness*), характеризующими восприятие/ощущение *яркости* (*luminance*), из чего можно заключить, что речь идет именно о воспринимаемой яркости, а не о некой «явленной» наблюдателю силе, *интенсивности*.

И только в следующем, равновесном пп. 3.3.2, формулируется само значение тона как *воспринимаемая яркость*, но в числах от 0 до 1 или от 0 до 100 %. Такие единицы присущи самой яркости,

оцениваемой координатой Y в XYZ МКО или линейно связанной с ней *площадью покрытия* по пп. 3.3, но никак не их восприятию [22]. Мерой последнего и служит светлота L равноконтрастного цветового пространства Lab МКО, вычисляемая в размерности 1–100 ед. из яркости Y по известной весьма нелинейной зависимости:

$$L = 116 (Y/Y_{ref})^{1/3} - 16. \quad (2)$$

Координаты цветности a и b оценивают в единицах от -100 до $+100$ каждая.

С переходом от возбуждения к ощущению меняется размерность [23]. Однако указание ее единиц в яркостях или относительных площадях (0–1 или 0–100 %) не согласуется с указываемой здесь же возможностью любого толкования данного термина. Это спорно, например, в отношении цифрового значения тона T — *цифровые значения для СМЮК в документе PDF/X, который будет напечатан* (пп. 3.3.4).

При переходе к светлотам L в PDF/X файле единицы 0–1 яркости или 0–100 % покрытия (СМЮК) квантуют по шкале 0–255 восьмиразрядного кода весьма нелинейно, например, по указанной выше формуле. Поэтому метрики яркости или покрытия в значении тона, подлежащем кодированию, и того, что представлен в файле, оказываются различными [23]. Чтобы показать это, на офсетной машине черной краской с линиатурой автотипного раstra 60 лин/см (150 lpi) была напечатана контрольная тоновая шкала, каждая из десяти ступеней которой отличалась от соседних на равные интервалы исходного PDF/X кода. Методика этого эксперимента соответствовала построению контрольных шкал по стандарту ISO 12647-2, предписывающему отличия соседних полей в 10 %. И денситометрические, и колориметрические измерения осуществлялись спектрофотометром eXact Advanced. Первые из них проводились через поляризационный фильтр, относительно бумаги, с геометрией $45^\circ/0^\circ$ и по Статусу Е МКО. Цветовые параметры оценивались относительно белого эталона с геометрией измерения $45^\circ/0^\circ$ на черной основе и с расчетами под стандартного наблюдателя МКО 2° и с освещением источником D50.

Равноконтрастность шкал и, соответственно, исходного сигнала подтвердилась близким к линейному распределению светлоты L и плотности D (рис. 5а), а не площадей растровых точек (%) или яркостей Y (рис. 5б).

Для случая черно-белой шкалы кривая цветового значения тона (CTV) совпадает с кривой для L , поскольку с использованием лишь координаты Y формула

$$SCTV = 100 \cdot \frac{\sqrt{(V_{x,l} - V_{x,p})^2 + (V_{y,l} - V_{y,p})^2 + (V_{z,l} - V_{z,p})^2}}{\sqrt{(V_{x,s} - V_{x,p})^2 + (V_{y,s} - V_{y,p})^2 + (V_{z,s} - V_{z,p})^2}}, \quad (3)$$

где все V рассчитываются подобно светлоте L в Lab МКО из координаты яркости Y в XYZ, МКО по выражению (2) преобразуется в частное разностей по светлоте (дельта L):

$$SCTV (ч / б) = 100 \cdot \frac{(V_{y,l} - V_{y,p})}{(V_{y,s} - V_{y,p})} = 100 \cdot \frac{L_l - L_p}{L_s - L_p}, \quad (4)$$

а при значениях светлоты бумаги $L_p \approx 100$ и сплошного красочного слоя $L_s \approx 0$ дает

$$SCTV (ч/б) = 100 - L_p. \quad (5)$$

По аналогии со светлотой, измеряемой в единицах от 0 до 100, можно бы назвать такой параметр «темнотой» или «темнотью».

Этими и приведенными выше кривыми подтверждается, что нумерация полей шкал линейна в отношении именно такого специфического атрибута цвета. Но его, к сожалению, оценивают для $SCTV$ (3) в процентах, как бы предлагая практикам привычное *покрытие*, несмотря на то, что шкалы, равного в таких процентах шага, весьма неравномерны.

Прирост значения тона

Печатное значение тона в подчиняющем в документе последующие (от пп. 3.3.7.1 до 3.3.7.6) также определено как *воспринимаемая яркость*, т. е. с акцентом на перцептивный, равноконтрастный характер параметра, и исключая метрики в количествах краски или яркостях. Но такое свойство не присуще, например, следующему в пп. 3.3.7.1 денситометрическому значению тона. Вычисляемое в относительных площадях растровых точек по формуле Шеберстова — Мюррея значение характеризует стимул — яркость, а не меру ее восприятия.

Указанный конфликт метрик и проявляется далее (пп. 3.3.7.2) в определении *прироста значения тона (TVI)* как *разности денситометрического значения тона* (пп. 3.3.7.1) и *цифрового значения тона* (пп. 3.3.4). Тем самым позволяет вычитать из некоторых данных их же нелинейно связанную долю.

Напротив, атрибут воспринимаемая яркость звучит вполне правомерно в пп. 3.3.7.3 применительно к цветовому значению тона (CTV), оцениваемому в равноконтрастной метрике Lab. Здесь же и рекомендуется отличать цветное значение тона от колориметрического значения тона (по ISO 12647-1), поскольку последнее вычисляется напрямую из координат XYZ. В отличие от расчета TVI по пп. 3.3.7.2, метрики уменьшаемого и вычитаемого в пп. 3.3.7.4 для разности цветового значения тона: $дельтаCTV = CTV - T$, где T — цифровое значение тона по пп. 3.3.4, совпадают.

Тем не менее вряд ли уместно (примечания к пп. 3.3.7.3) оценивать CTV аналогично покрытию в процентах, присваивая 0 % подложке, а 100 % — сплошному красочному слою. Там же и оговаривается, что калибровочные шкалы равноконтрастны. Кроме того, в таблицах 2–5 целевые значения уровня дельта CTV , в отличие от TVI , заданы документом именно в Lab метрике как положительными, так и отрицательными отклонениями от цифрового значения тона T . Таким образом, не уместно, как предлагает проект стандарта, характеризовать их некой линейной CTV кривой по аналогии с денситометрической TVI , тогда как речь идет о положительном или отрицательном смещении от целевого цветового значения тона.

Выводы

Значение тона исторически оценивают относительной площадью, запечатываемой краской на единичном участке автотипного оттиска. Модели иллюстрационной печати, изначально основанные на чисто геометрической посылке, со временем дополнялись учетом множества побочных физических и физиологических факторов взаимодействий в системах «форма — краска — бумага» и «освещение — отклик — зрение». Сегодня варианты указанного

параметра используют в представлении характеристик передачи различных физических этапов печатного процесса и в колориметрических преобразованиях, которым зачастую сопутствует смена способа кодирования, метрики и нормирования сигнала изображения.

Числа от 0 до 100, проставляемые от самого светлого до темного возле полей шкал контроля, соответствуют метрике такого увязанного с восприятием атрибута цвета, как «темность» (100 — светлота L), что и обеспечивает визуально равный контраст ступеней этих шкал. Поэтому нормирование измеряемых значений тона смесовых (SCTV) и цветового значения тона триадных (CTV) красок более правомерно в равноконтрастной мере ощущений, а не в привычных для практики процентах площади покрытия, напрямую увязанных с возбуждением.

Определения данного параметра целесообразно формулировать в отечественных версиях этой серии стандартов с учетом соответствия нормировки их значений как типу и характеру метрики, так и способу кодирования. Это обеспечит более однозначную трактовку смысла чисел возле полей шкал контроля как аргумента измеряемых калибровочных функций.

Помимо общих условий (Printing Conditions) по части используемых красок, подложек и способа печати, для гарантии полной реализации репродукционных возможностей процесса необходимо оговаривать в стандарте рабочий эффективный интервал значений тона, а также линиатуру, геометрию раstra и его печатающего элемента.

Благодарности / Acknowledgments

Авторы выражают искреннюю благодарность А. А. Шабельской за помощь в проведении и обработке результатов измерений.

The authors express their sincere gratitude to A. A. Shabelskaya for her assistance in conducting and processing the measurement results.

Примечания

¹ За исключением подложки (0 %) и сплошного красочного слоя (100 %), какие-либо расчеты в областях ниже 10 % и выше 90 % последние стандарты серии 12647 не рекомендуют.

² Уровни белого и черного, отделяющие рабочий интервал иллюстрационной печати от шумов, ранее оговаривались как 3–5 % и 95–97 %, но теперь даже не упоминаются в документах ТК 130 Международной организации по стандартизации.

³ Ранее использовался термин “dot gain” (растискивание).

Список источников / References

1. ISO/DIS 12647-2. Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 2: Offset lithographic processes. ISO/TC 130 Draft N 5077, 2023. (Проект стандарта).

2. Тарасов Д. А., Мильдер О. Б. Математика и практика инвариантов цветовых пространств на примере определения баланса по серому для цифровой печатной системы // Компьютерная оптика. 2020. Т. 44, № 1. С. 117–126. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-580>. EDN: AQWYFC.

Tarasov D. A., Milder O. B. Mathematics and practice of color space invariants by the example of determining the grey balance for a digital printing system. Computer Optics. 2020;44(1):117–126. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-580>. EDN: AQWYFC. (In Russ.).

3. Нюберг Н. Д. Курс цветоведения. Москва — Ленинград: Гос. изд-во легкой промышленности, 1932. С. 86–87.

Nyuberg N. D. Kurs tsvetovedeniya. Moscow—Leningrad, 1932. P. 86–87. (In Russ.).

4. Шеберстов В. И. Количественные соотношения позитива и негатива для нормального воспроизведения оригинала в автотипном процессе // Труды НИИ ОГИЗа. 1936. Вып. 3. С. 46.

Sheberstov V. I. Kolichestvennyye sootnosheniya pozitiv i negativa dlya normal'nogo vosproizvedeniya originala v avtotipnom protsesse. Trudy NII OGIZa. 1936;3:46. (In Russ.).

5. Murray A., Davies E. Monochrome reproduction in photoengraving. *Journal of the Franklin Institute*. 1936;221:721–744.

6. Neugebauer H. E. J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbenbuchsdrucks. *Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie*. 1937;36:73–89. (In Germ.).

7. Amidror I., Hersh R. D. Neugebauer and Demichel: Dependence and Independence in n-Screen Superpositions for Colour Printing. *Color Research and Application*. 2000;25(4):267–277.

8. Jule I. A., Nielsen W. I. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction. *TAGA Proceedings*. 1951:65–76.

9. Ide O. Colorimetric dot gain analysis using Yule-Nielsen n. *Journal of Imaging Science and Technology*. 2002;46(2):136–141.

10. Byer R. J. Ink film thickness and its relation to dot size in photo offset lithography. *Thesis. Rochester Institute of Technology*, 1969. P. 20.

11. Yang L., Kruse B. Scattering and absorption of light in turbid media. In: *Advances in printing science and technology. Proceedings of the 26th International Research Conference of IARIGAI*. Munich, 1999.

12. Голунов А. В., Голунова А. С., Щеглов С. А. [и др.]. Влияние неоднородности структуры изображения на регистрируемые значения координат цвета // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 2. сс. 426–431. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2023-2-426-431>. EDN: ZPXWRL.

Golunov A. V., Golunova A. S., Shcheglov A. S. [et al.]. Investigation of the influence of image structure inhomogeneity on recorded values color coordinate. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskiye Nauki*. 2023;2:426–431. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2023-2-426-431>. EDN: ZPXWRL. (In Russ.).

13. ISO 12647-2:2013. Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes. Released 2013-12. ISO/TC 130, 2013. 25 p.

14. ISO 12647-1:1996. Graphic technology — Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 1: Parameters and measurement methods. Released 1996-10. ISO/TC 130, 1996. 12 p.

15. Кузнецов Ю. В. Основы технологии иллюстрационной печати: монография. Санкт-Петербург: «Российская культура», 2016. 440 с. ISBN 978-5-905618-04-8. EDN: YVDZJB.

Kuznetsov Yu. V. Osnovy tekhnologii illyustratsionnoy pechati. Saint Petersburg, 2016. 440 p. ISBN 978-5-905618-04-8. EDN: YVDZJB. (In Russ.).

16. Kuznetsov Y. V. Does Still Some Philosophy Exist for the Halftone Frequency Selection? *Proceedings of the IS&Ts NIP 15: 1999 International Conference on Digital Printing Technologies*. Orlando, 1999. P. 362–365.

17. Birkett W. B., Spontelli Ch. Optimal Tone Reproduction Curves for Color Printing. *TAGA Proceedings*. 2018. P. 203–226.

18. Carrara D. A. [et al.]. Recent progress in digital halftoning. *Proceedings of IS&Ts 8th International Conference on Non-Impact Printing Technologies (NIP 8)*. 1992. P. 25–39.

19. Sanger K. M. Method for adjusting dot-gain for a halftone binary bitmap. US patent 0030329 A1; filed August 6th, 2003; published Feb. 10th, 2005.

20. Samworth M., Cadogan P. Method of controlling the ink film thickness on a printing plate. US patent 0002384 A1; filed April 13th, 2006; published Jan. 4th, 2007.

21. Giorgianni T. J., Madden Th. E. Digital color management. Encoding solutions. Addison-Wesley, 1998. 576 p.

22. Birkett W. B., Spontelli C. Colorimetric Tone Value (CTV) A Proposed Single-Value Measure for Presswork. URL: http://optimalmethod.org/resources/Colorimetric_Tone_Value_v6.pdf (accessed: 01.12.2026).

23. Kitakubo Sh., Hoshino Y. Relation between some characteristics of errors caused by binarizations and print quality. IS&T NIP13 Proceedings, 1997. P. 550–553.

Вклад авторов:

Ю. В. Кузнецов. Анализ состояния вопроса, формулирование цели и задач исследования.

С. П. Гнатюк. Постановка эксперимента, анализ и обработка его результатов.

П. О. Яковлев. Проведение эксперимента, формулирование результатов и подготовка текста работы.

Authors' contribution:

Yuri V. Kuznetsov. Analysing the issue status, formulation of the research aim and objectives.

Sergey P. Gnatyuk. Setting up the experiment, analysing and processing its results.

Pavel O. Yakovlev. Conducting the experiment, formulating the results and preparing the text of the article.

Информация об авторах:

КУЗНЕЦОВ Юрий Вениаминович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Фотография и народная художественная культура» Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург.

SPIN-код: 7583-3280

AuthorID (РИНЦ): 359125

e-mail: yurivk@mail.ru

ГНАТЮК Сергей Павлович, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Технология полиграфического производства» Высшей школы печати и медиатехнологий Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург.

SPIN-код: 3170-7280

AuthorID (РИНЦ): 618210

e-mail: ganatetsky@yandex.ru

ЯКОВЛЕВ Павел Олегович, инженер типографии Академии управления городской средой, градостроительства и печати, г. Санкт-Петербург.

SPIN-код: 5475-0394

AuthorID (РИНЦ): 1125752

e-mail: pressman1985@inbox.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 02.12.2025; одобрена после рецензирования 07.05.2026; принята к публикации 01.06.2026.

Information about the authors:

KUZNETSOV Yuriy Veniaminovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Photography and Art Culture Department, Saint-Petersburg State University of Film and Television, Saint Petersburg.

SPIN-code: 7583-3280

AuthorID (RSCI): 359125

e-mail: yurivk@mail.ru

GNATYUK Sergey Pavlovich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Graphic Technology Department, High School of Print and Media Technologies, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg.

SPIN-code: 3170-7280

AuthorID (RSCI): 618210

e-mail: ganatetsky@yandex.ru

YAKOVLEV Pavel Olegovich, Engineer of the Printing Department, Academy of Urban Management, Planning and Printing, Saint Petersburg.

SPIN-code: 5475-0394

AuthorID (RSCI): 1125752

e-mail: pressman1985@inbox.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The authors have read and approved the final manuscript.

The article was submitted 02.12.2025; approved after reviewing 07.05.2026; accepted for publication 01.06.2026.